

(5) 合成柱(充てん方式)を有する鋼製橋脚の設計法

大阪市立大学工学部 中井 博 阪神高速道路公団 江見 普
阪神高速道路公団 北沢正彦 阪神高速道路公団○吉川 紀

1. まえがき

コンクリートを鋼管柱に充てんしたいわゆる合成柱は、耐荷力、じん性ならびに耐火性などに関して優れた特性を持ち、DIN18806 Teil¹⁾や BS5400 Part 5²⁾で基準化されていることもあって、ヨーロッパではすでに新しい構造形成として定着しつつある。阪神高速道路公団においては、この構造形式を橋脚に活用するため、長方形断面の合成柱に限定した数々の実験と解析とが行われてきた。^{3), 4)}

それらの実験結果から、①軸方向圧縮力のみならず曲げモーメントの占める比率が高い場合でも、合成構造として優れた剛性、耐荷性、および、じん性を有すること、②鋼とコンクリートとのヤング係数比は $n=10$ 程度にとれて効果があること、③動的特性が相当に改善できること、④ラーメン隅角部や柱基部におけるせん断遅れ現象がほとんど消失すること、⑤柱基部内側の補剛法が簡素化できること等が明らかにされてきた。

一方、合成柱を包む外側鋼板の座屈強度を有限要素法による弾塑性有限変位解析⁵⁾や合成柱の耐荷力をCDC法⁶⁾を用いて数値解析⁷⁾も行われてきた。まず、前者から、①充てんコンクリートが存在するため、鋼板の局部座屈は外側のみに起こるモードを呈する、②補剛材の剛度が低下しても、充てんコンクリートの拘束により鋼板の局部座屈が防止されることが明らかにされ、最終的に③合成柱の構成部材である鋼板に初期不整がある無補剛鋼板および補剛鋼板の終局強度式が提案された。つぎに、後者から、①合成柱の耐荷力は鋼管と充てんコンクリートとの単純な累加強度を上まわること、②初期不整の耐荷力に与える影響は小さく、鋼管と充てんコンクリートとの荷重分担率が耐荷力を左右する主たる要因であること、③鋼管の荷重分担率が小さいほど合成柱としての効果を発揮すること等が明らかにされた。

以上の成果を踏えて、今回、阪神高速道路公団においては、合成柱を設計するために必要な基本事項を取りまとめ、「合成柱(充てん方式)を有する鋼製橋脚の設計・施工指針(案)」⁸⁾の作成を試みた。

この設計・施工指針(案)では、充てんコンクリートが硬化する以前の状態を鋼部材と考え、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編(以下、道示Ⅱという)と同じ考え方で設計するものとしている。充てんコンクリート硬化後、合成柱がSRCやRC部材に類似した非弾性的な挙動を呈するならば、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編(以下、道示Ⅲという)に示される諸規定を採用する方が合理的であろう。しかしながら、本指針(案)は鋼部材と同様の挙動をすると考えられる範囲内で諸基準を整備してみたものである。しかも、合成柱の一つの大きな特徴である優れた耐荷性を有効に利用するため、「鋼橋および鋼部材の非弾性挙動と設計基準に関する研究」⁹⁾を参考にし、限界状態設計法による書式が採用されている。この点が本設計・施工指針(案)の大きな特徴であろう。

本文は、上述の設計・施工指針(案)から、合成柱を設計する際に基本となる充てんコンクリートの特性、耐荷力の照査法、および、合成柱固有の構造細部の設計法について紹介しようとしたものである。

2. 適用範囲

本設計・施工指針(案)は、両端が強固な隔板で拘束された長方形断面の鋼管柱内にコンクリートを充てんした合成柱を有する鋼製橋脚を対象としており、鋼管の荷重分担率 δ 、すなわち、

$$\delta = \frac{P_{ss}}{P_{ss} + P_{cs}} \quad (1)$$

ここに、

$$P_{ss} = \sigma_{cu0} \cdot A_s \quad (2)$$

鋼材の圧壊荷重(kgf/cm²)

$$P_{cs} = 0.85 \sigma_{ck} \cdot A_c \quad (3)$$

コンクリートの圧縮荷重(kgf/cm²)

σ_{cuo} : 局部座屈を考慮しない軸方向圧縮強度(kgf/cm²)の上限値

A_s : 鋼材の断面積(cm²)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度(kgf/cm²)

A_c : 充てんコンクリートの断面積(cm²)

が

$$0.2 \leq \delta \leq 0.9$$

(4)

の範囲のものに限定している。

一般に、 δ が小さ過ぎると、コンクリートの荷重分担が大きくなり、合成柱は鉄筋コンクリート的な挙動を呈する。また、 δ が大き過ぎると、鋼の荷重分担が大きくなり、鋼部材としての特性が卓越することになる。

そこで、本設計・施工指針(案)では、文献1) および文献7) の研究に基づき、式(4)のように合成柱の適用範囲を荷重分担係数 δ によって限定している。

3. 荷重の組合せ、安全率および荷重係数⁹⁾

3.1 耐力を照査する場合の安全率および荷重係数

耐力等⁹⁾の照査にあたって考慮すべき荷重の組合せ、安全率および荷重係数については種々な議論もあろうが、とりあえず文献9)に

表1 荷重の組合せ、安全率及び荷重係数(文献9)による)

示されている表1を用いることとした。ここに、照査に用いる荷重は、荷重の設計用値としている。また、荷重の記号は、道示Ⅰ共通編に従うものとしている。

荷重の組合せ	安全率	荷 重 係 数																		
		P								S				PP				PA		
		D	L	I	PS	CR	SH	E	HP	U	W	T	EQ	SW	GD	SD	WP	CF	BK	ER
P+PP	1.70	1.0							1.0				1.0					1.0		
P+PP+T	1.50	1.0							1.0		1.0		1.0					1.0		
P+PP+W	1.35	1.0							1.0	1.0			1.0					1.0		
P+PP+T+W	1.25	1.0							1.0	1.0	1.0		1.0					1.0		
P+PP+CO (鋼)	1.00	1.0							1.0				1.0					1.0		1.0
〃 (コンクリート)	1.15	1.0							1.0											
W	1.40									1.0										
BK	1.40																		1.0	
P(except L+I)+EQ+T	1.00	1.0			1.0				1.0		1.0	1.0								
P(except L+I)+EQ	1.15	1.0			1.0				1.0			1.0								
ER	1.35																			1.0

3.2 たわみを照査する

場合の安全率および荷重係数

たわみの照査にあたって考慮すべき荷重の種類はL荷重(衝撃を除く)とし、それに対する安全率ならびに荷重係数はそれぞれ1.0を用いるものとしている。ここに、照査に用いる荷重としては設計用値としている。

4. 使用材料

4.1 コンクリート

(A) 強度

(1) 設計基準強度

充てん用コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} は、普通コンクリートを使用するものとし、 $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ としている。

(2) 圧縮強度

圧縮強度は、道示Ⅲ2.4.4に準じて $0.85\sigma_{ck}$ としている。

(3) せん断強度

せん断強度 τ_{ck} は、道示Ⅲ表3.2.1に示された $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ に相当するコンクリートの許容せん断応力度に安全率1.7(表1のP+PP)を乗じ、 $\tau_{ck}=6.6\text{kgf/cm}^2$ としている。

(B) 単位重量

充てんコンクリートは、経済性や現場における打設作業の容易さを考えて無筋コンクリートとし、単位重量 γ_c は道示Ⅰ共通編2.1.2に従い、 $\gamma_c=2,350\text{kgf/m}^3$ としている。

(C) まだ固まらないコンクリートの側圧

充てんコンクリートがまだ固まらない間は、鋼管に側圧を与える。この側圧分布は、実験結果¹⁰⁾によると、土木学会でまとめられた文献11)の方法で求めた分布に近いことが明らかになったので、そこで示された算出方法によるものとしている。

(D) クリープ

合成柱に持続荷重が作用する場合には、充てんコンクリートのクリープの影響を考慮することとしている。その場合、応力の計算は、次式の換算弾性係数比 $n(\phi)$ を用いることにしている。¹²⁾

$$n(\phi) = \frac{n\{e^{\alpha\phi} + (\alpha + 1)\}}{\alpha} \quad (5)$$

ここに、

n : 4.3で述べる弾性変形を計算するための鋼と充てんコンクリートとのヤング係数比

$$\alpha = \frac{A_s I_s}{A_v I_v} \quad (6)$$

A_s, I_s : それぞれ鋼管の断面積および断面2次モーメント

A_v, I_v : それぞれ4.3に示す弾性変形を計算するためのヤング係数比 n を用いて鋼に換算した合成柱の断面積および断面2次モーメント

ϕ : 道示Ⅲ2.2.2によるクリープ係数

(E) 乾燥収縮

合成柱の場合、充てんコンクリートが鋼管で密閉された状態で硬化するので、充てんコンクリートの乾燥収縮は無視する¹³⁾ことにしている。

4.2 鋼材

使用する鋼材の規格および設計計算に用いる物理定数は、道示Ⅰ共通編3.1、3.3によるものとしている。

また、鋼材の強度は、まえがきで述べたように限界状態設計法によることにしたため、道示Ⅱ2.2.1の表2.2.1～2.2.3の許容応力度を鋼種SS41、SM41、SMA41、SM50、SM50Y、SM53、SMA50材(板厚16mmをこえ40mm以下)およびSM58、SMA58材(板厚40mmをこえるもの)に対するそれぞれの基準降伏点に置きかえて使用することとしている。⁹⁾

4.3 鋼材と充てんコンクリートとのヤング係数比

合成柱を有する鋼製橋脚の弾性変形および不静定力の計算に用いる鋼材と充てんコンクリートとのヤング係数比 n は、合成柱を有する橋脚の現場載荷実験結果¹⁴⁾から、 $n=1.0$ にとるものとしている。

一方、応力度の計算に用いるヤング係数比 n は、道示Ⅲと同様な考えに基づき、 $n=1.5$ をとることにしている。

5. 合成柱の設計法

5.1 設計計算一般

合成柱を有する橋脚の設計フローチャートを、図1に示す。合成柱は、施工段階に応じた荷重を鋼部材のみで受け持つ必要があり、完成後においては合成部材で荷重を受け持つ。したがって、橋脚の各部材は、原則として充てんコンクリート硬化前および硬化後に作用する荷重に対し、耐荷力およびたわみに対する安全性をいずれも確保しているかを照査し、設計するものとしている。合成柱部材断面の設計に用いる断面力は、原則として弾性理論によって算出するものとしている。なお、合成柱部材断面の応力度は、道示Ⅲ2.4.3の鉄筋コンクリート部材の応力度算出法に準じるものとしている。

5.2 部材の寸法決定に関する一般事項

(A) 鋼材の最小板厚

合成柱に使用する鋼材の板厚は、設計上あるいは製作・架設上の問題が生じなければ、原理的には一次部材であっても、最小厚さ6mmまで下げることが可能である。しかしながら、設計上の最小板厚は、①局部座屈を防止するための板厚制限および②鋼材の荷重分担係数 δ に対する制限もあるため、道示Ⅱ3.1.6の規定に従うものとしている。

(B) 部材の最大細長比

鋼製橋脚の細長比 l/r は、実績調査によると、¹⁵⁾9.3～46程度のものが多く、最大でも74程度となっているので、合成柱としての細長比 l/r は道示Ⅱ3.1.7の規定に準じることにしている。ここに、ラーメン全体座屈を照査する場合の有効座屈長 l は、道示Ⅲ13.5によって算出することとしている。

この場合、充てんコンクリートの剛度は、もちろん考慮してよいことにしている。

5.3 合成柱における鋼管の局部座屈強度⁵⁾

充てんコンクリート硬化前の圧縮板の局部座屈強度は、4.2と同様に道示Ⅱ表3.2.2、3.2.3、3.2.5に相当する許容応力度を基準降伏点に置きかえて使用することとしている。

充てんコンクリート硬化後の無補剛板では、座屈変形が鋼部材の外側にのみ生じるものと、周辺が固定支持された圧縮板として基本強度が求められている。

有限要素法を用いた弾塑性有限変位解析によると、無補剛板の局部座屈強度 σ_{cul} は、次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cul}/\sigma_{cuo} &= 1.0, (R_f \leq 0.5) \\ \sigma_{cul}/\sigma_{cuo} &= 0.433(R_f - 0.5)^2 + 0.831(R_f - 0.5) + 1.0, (0.5 < R_f \leq 1.0) \end{aligned} \right\} \quad (7) \text{ a, b}$$

ここに、

$$R_f = 0.323 \frac{\sigma_{cuo}}{E_s} \frac{b}{t} \quad (8)$$

b : 長方形板の板幅

t : 長方形板の板厚

E_s : 鋼材のヤング係数

σ_{cuo} : 4.2に示す鋼材の強度の上限値

一方、充てんコンクリート硬化後の補剛板の局部座屈強度 σ_{cul} は、鋼板と縦補剛材とで構成される図2に示すT形断面の柱が図3に示す横補剛材あるいはダイヤフラムで固定支持されるものとみなし、図示のような座屈モードを呈するものとして座屈強度を算出する。

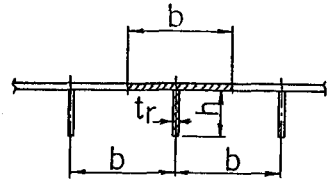


図2 T形断面柱

その結果は、次式のようにまとめられる。

$$\sigma_{cul} = \kappa \sigma_{cuo} \quad (9)$$

$$\kappa = \beta - \sqrt{\beta^2 - \frac{1}{\lambda^2}} \quad (10)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1 + \alpha \sqrt{\lambda(\lambda - 0.2)}}{\lambda^2} \right\} \quad (11)$$

$$\alpha = 0.412 (\text{ECCSの耐力力曲線 "C" に相当するもの}) \quad (12)$$

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_{cuo}}{E_s}} \cdot \frac{L_e}{\gamma} \quad (13)$$

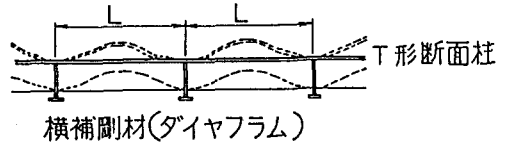


図3 T形断面柱の支持条件と座屈モード

L : 横補剛材またはダイヤフラム間隔

γ : 図2のT形断面の断面2次モーメント

5.4 耐力力の照査

(A) 鋼部材⁹⁾

鋼部材の耐力力の照査については、道示Ⅱ 3.2、8.2.1～8.2.5の諸規定を断面力で表現して書き改めたものを使うものとしている。

(B) 合成柱部材

(1) 鋼板の局部座屈の照査

合成柱鋼板の局部座屈に対する照査は、次式によって行うものとしている。

$$\nu \frac{\sigma_{cyz}}{\sigma_{cu\ell}} \leq 1.0 \quad (14)$$

ここに、

ν : 表1に示す安全率

σ_{cyz} : 充てんコンクリートの硬化前および硬化後断面に作用する軸方向力、 y 軸まわりの曲げモーメントおよび z 軸まわりの曲げモーメントによる鋼板の圧縮応力度(kgf/cm²)

$\sigma_{cu\ell}$: 局部座屈強度(kgf/cm²)

ただし、 y 軸および z 軸まわりの作用曲げモーメント M_{yo} および M_{zo} には付加曲げモーメントの影響⁽¹⁵⁾を考慮して、それぞれ次式により算出した値を用いるものとしている。

$$M_y = M_{yo} \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cry}}}, \quad M_z = M_{zo} \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{crz}}} \quad (15) \text{ a, b}$$

(2) 軸方向圧縮力を受ける合成柱

軸方向圧縮力のみが作用すると考えられる範囲は、 $M/M_p \leq 0.1$ としている。そこで、軸方向圧縮力を受ける柱は、次式により照査するものとしている。

$$\nu \frac{P}{P_u} \leq 1.0 \quad (16)$$

ここに、

P : 軸方向圧縮力

$$P_u = K P_{cq} \quad (17)$$

柱断面の耐力力

$$P_{cq} = \sigma_{cu\ell} A_s + 0.85 \sigma_{ck} A_c \quad (18)$$

合成柱断面の圧壊荷重

$$K = \eta - \sqrt{\eta^2 - \frac{1}{\lambda^2}} \quad (19)$$

$$\eta = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{\lambda^2} (1 + \alpha \sqrt{\lambda(\lambda - 0.2)}) + 1 \right\} \quad (20)$$

$$\alpha = 0.314 \text{ (ECCS 曲線の "b" 曲線を用いて算出された係数)} \quad (21)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{P_p}{P_{cr}}} \quad (22)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I_v}{\ell^2} \quad (23)$$

柱の弾性座屈強度

ℓ : 柱部材の有効座屈長

$$r = \sqrt{I_v / A_v} \quad (24)$$

部材の断面2次半径

M : 断面に作用する曲げモーメント

$$M_p = (\sigma_{cu0} - \sigma_e) \{ d t_w (d_i - d_N) + b t_f (d_i + t_f) \} \quad (25)$$

断面の全塑性モーメント(図4参照)

$$d_N = \frac{2 d t_w}{4 t_w + b_i \frac{0.85 \sigma_{ck}}{(\sigma_{cu0} - \sigma_e)}} \quad (26)$$

$$b_i = b - 2 t_w \quad (27)$$

$$d_i = d - 2 t_f \quad (28)$$

σ_e : 充てんコンクリート硬化前の応力度のうち構造物完成後まで残留する応力

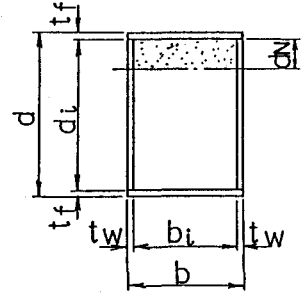


図4 全塑性モーメント M_p を求めるための基本断面

(3) 軸方向圧縮力と一軸曲げモーメントを受ける合成柱

柱の全体座屈が起こらない合成柱の $P/P_p \sim M/M_p$ 相関曲線は、次式で表わされる。

$$\alpha \left(\frac{P}{P_p} \right)^2 - \beta \left(\frac{P}{P_p} \right) + \frac{M}{M_p} \leq 1.0 \quad (29)$$

しかしながら、長柱の場合、 P_p は一般に $P_p \geq P_u$ であり、また、鋼板の局部座屈が卓越する場合には、実験によると、 $M \leq 0.9 M_p$ となっている。以上のことから、長柱の全体座屈および梁の局部座屈について、これらの安全側の設計になるように式(29)の相関曲線において P_p の代りに P_u を用い、 M_p の代りに M_u ($= 0.9 M_p$)を用い、さらに、第3項には係数 $1.1 (= 1/0.9)$ を乗じたものを用いると、式(29)は次式のように表わされる。

$$\alpha \left(\frac{P}{P_u} \right)^2 - \beta \left(\frac{P}{P_u} \right) + 1.1 \left(\frac{M}{M_u} \right) \leq 1.0 \quad (30)$$

上式中のパラメーター α および β は、分担率 δ および断面形状のパラメーター $\phi (= H/B)$ の関数として与えられる⁷⁾。いま、式(30)において、 $M = 0$ でかつ $P = P_u$ なる限界状態を与えれば、 $\alpha - \beta = 1.0$ となる。したがって、式(30)は次のように書ける。

$$(1 + \beta) \left(\frac{P}{P_u} \right)^2 - \beta \left(\frac{P}{P_u} \right) + 1.1 \left(\frac{M}{M_u} \right) \leq 1.0 \quad (31)$$

パラメーター β はパラメトリック解析の結果、⁷⁾

$$\beta = 9.17 \delta^2 - 13.75 \delta + 4.63 \quad (32)$$

で表わされる。そこで、式(30)に安全率 ν を考え、曲げモーメントのみで表示すれば、

$$\nu (M/M_u) \leq \psi \quad (33)$$

となる。

ここに、

$$\psi = \frac{1}{1.1} \left\{ 1.0 - \nu^2 (1 + \beta) \left(\frac{P}{P_u} \right)^2 + \nu \beta \left(\frac{P}{P_u} \right) \right\}, \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_{cu0}} \leq 0.1 \right) \quad (34) \text{ a, b}$$

$$= 1.0 - \nu^2 (1 + \beta) \left(\frac{P}{P_u} \right)^2 + \nu \beta \left(\frac{P}{P_u} \right), \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_{cu0}} > 0.1 \right)$$

ただし、

$$M = M_0 \frac{1}{\left(1 - \frac{P}{P_{cy}} \right)} \quad (35)$$

(4) 軸方向圧縮力と二軸曲げモーメントを受ける合成柱

上記の(3)項を二軸曲げを受ける場合に拡張すると、次式のようになる。

$$\nu \left(\frac{M_y}{M_{uy}} \right) + \nu \left(\frac{M_z}{M_{uz}} \right) \leq \psi \quad (36)$$

ここに、

$$M_y = M_{y0} \frac{1}{\left(1 - \frac{P}{P_{cry}}\right)}, \quad M_z = M_{z0} \frac{1}{\left(1 - \frac{P}{P_{crz}}\right)} \quad (37) \text{ a, b}$$

(5) せん断力を受ける合成柱

充てんコンクリートは、4.1(A)(3)に述べたせん断強度まで分担できるものとしている。

$$\nu \frac{S}{S_{us} + S_{uc}} \leq 1.0 \quad (38)$$

ここに、

$$S_{us} = A_g \tau_{us}, \quad S_{uc} = A_c \tau_{uc} \quad (39) \text{ a, b}$$

および、

S : せん断力

S_{us} : 鋼断面のせん断力

S_{uc} : コンクリート断面のせん断力

τ_{us}, τ_{uc} : それぞれ鋼材およびコンクリートのせん断強度

A_g : 鋼断面においてせん断を負担すると考えられる有効断面積

A_c : 充てんコンクリートの断面積

(6) ねじりモーメントを受ける合成柱

ねじりモーメントが作用する場合、鋼板と充てんコンクリートの共同作用については不明な点が多いが、

$$\nu \frac{M \tau}{M_{tus}} \leq 1.0 \quad (40)$$

で照査するものとしている。また、せん断力のみが作用する場合には、充てんコンクリートにせん断力を負担させたが、せん断力と同時にねじりモーメントが作用する場合には、安全側を考慮してねじりモーメントは鋼板のみで負担することとして、

$$\nu \frac{S_s}{S_{us}} + \nu \frac{M \tau}{M_{tus}} \leq 1.0 \quad (41)$$

で照査するものとしている。

(7) 合成応力度の照査

鋼断面に作用する垂直応力度とせん断応力度との合成応力度を考慮する場合は、

$$\nu \left(\frac{\sigma}{\sigma_{tu}} \right)^2 + \nu \left(\frac{\tau}{\tau_u} \right)^2 \leq 1.0 \quad (42)$$

により照査するものとしている。ねじりモーメントを考慮する場合は、式(42)のせん断応力度 τ にねじりによるせん断応力度を加算して照査するものとしている。

5.5 たわみの照査

道示Ⅱの規定を文献9)の限界状態設計法に従って表示すると、梁および柱頭部の変位は、次式によって照査できるものとしている。

$$\nu \left(\frac{\Delta}{\Delta_u} \right) \leq 1.0 \quad (43)$$

ここに、

Δ : 荷重によるたわみ、

Δ_u : 道示Ⅱによるたわみの制限値

6. 構造細部の設計

6.1 ラーメン隅角部

充てんコンクリート硬化前で架設荷重作用時のラーメン隅角部の応力は、阪神高速道路公団の設計基準第2

部第2編10.2によって算定し、隅角部を設計することになっている。

充てんコンクリート硬化後に作用する荷重に対しては、図5に示す範囲内にコンクリートを充てんした実験結果によると、³⁾せん断遅れがほとんど起こらないことが明らかにされたので、合成後のラーメン隅角部ではせん断遅れの影響は考慮しなくてもよいことにしている。しかしながら、実験によると、¹⁴⁾コンクリート充てんを打ち止めた境界部近傍の鋼管に応力の乱れが生じているので、この区域の補剛材等の配置には、十分な配慮が望まれるとしている。

6.2 ダイアフラム

合成柱の両端部には、充てんコンクリートの抜け出しを防止し、合成柱としての機能を確保するため、強固なダイアフラムを設けなければならないものとしている。端ダイアフラムの剛度が合成柱の挙動に及ぼす効果はまだ十分に明確にはされていないが、合成柱を鋼製橋脚の柱に使用する場合、柱の上側のダイアフラムには図6に示すように、梁の隅角部のフランジ厚さ程度、下側のダイアフラムにはベースプレートの厚さ程度の板厚を持たせるのがよいとしている。

一方、充てんコンクリートが硬化する以前に、鋼管柱に大きな断面力が作用したり、製作・架設上の理由から中間ダイアフラムが必要な場合には、その構造を充てんコンクリートのまわりがよいものとするにしている。

6.3 柱基部

合成柱の柱基部のアンカーボルト、ベースプレートおよび外側リブプレートは阪神高速道路公団設計基準第2部第2編10.3.1によって設計するものとしている。³⁾実験結果によると、図7に示す柱基部には破壊が起らず、一般部から崩壊に至っている。そこで、柱基部内面の補強プレートは省略しても、柱基部周辺の鋼管の応力分布ならびにコンクリートの支圧応力分布にはほとんど影響が現れないことが判明している。しかし、端部における充てんコンクリートの拘束効果が減少するような孔をベースプレートに設けることは極力避け、孔の寸法を最小限に留めることにしている。

6.4 ずれ止め

断面力の作用方向が急変する柱と梁との隅角部あるいは断面力が集中して作用する柱基部には、ずれ止めを必ず設けて鋼板と充てんコンクリートの一体化を計らねばならないものとしている。ずれ止めには、スタッドジベルあるいはスラグクランプを用いるものとし、その最大ピッチは道示Ⅱに準じて60cmとするものとしている。ただし、合成柱の一般部には、ずれ止めは設けなくてもよいものとしている。

7. 製作・施工

7.1 柱の角溶接

フランジと腹板との溶接はすみ肉溶接でなく、少なくとも部分とけ込み溶接、あるいはグループ溶接とする必要がある。¹⁶⁾

7.2 柱の現場継手

柱の現場継手は、原則として現場溶接によることにしている。なお、現場溶接施工に当っては、十分な管理¹⁷⁾

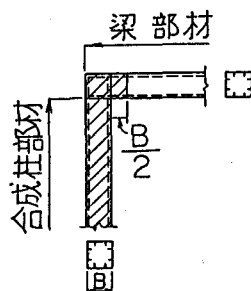


図5 梁部材に柱幅Bの半分の区間にコンクリートを充てんした合成柱

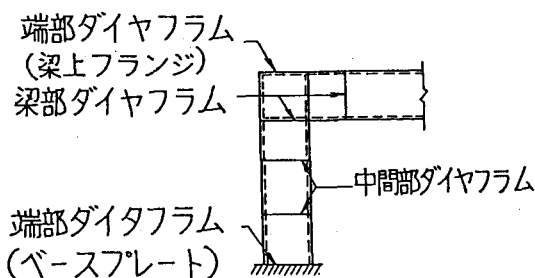


図6 ダイアフラム配置図

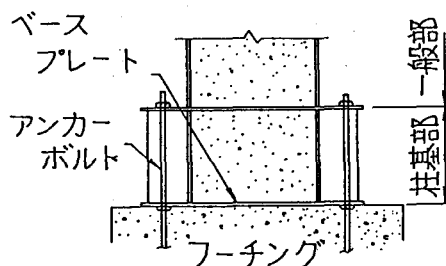


図7 柱基部の詳細

のもとに実施して継手に欠陥が生じないようにしている。

7.3 空気抜き孔

コンクリート打設時に、中間ダイヤフラムや梁上フランジの下面に、気泡が閉じ込められやすいことが、実験¹⁰⁾によって確認されている。このため、中間ダイヤフラムや梁上フランジには、空気抜き孔を設け、コンクリートがすみずみまで空隙なく充てんされるように工夫するようにしてある。

7.4 マンホール

コンクリートの打設のために、橋脚の梁天端には、各セル毎に作業に支障をきたさない程度にできるかぎり小さいマンホールを設けるものとしている。なお、コンクリート打設後は、溶接にて密閉するものとしている。

7.5 部材の製作精度

合成柱の場合には、充てんコンクリートとの合成効果により初期不整の耐荷力に及ぼす影響は小さいことが明らかにされているので、道示⁷⁾の部材製作精度を多少とも緩和してよいと思われる。しかしながら、本設計・施工指針(案)では、道示Ⅱ15.3.4によるものとしている。

8. まとめ

鋼管の中にコンクリートを充てんすることにより鋼製橋脚の耐荷力が大きくなり、柱の断面寸法も小さくできて狭い空間にも適応できるほか、剛性が非常に大きくなることから橋脚の振動特性が著しく改善され、沿道住民の環境問題あるいは支承を含めた上部構造本体への影響についても合成柱は有利なものとなる。当公団では、このような長所を具体的に生かそうと合成柱に関する数々の解析・実験あるいは充てんコンクリートを有する橋脚の試験施工を重ねて、設計・施工指針(案)を作成してみたので、その概要をここに報告した。細部については種々な御批判もあろうが、本設計・施工指針(案)の基本精神をくみ取っていただき、今後、合成柱が大いに活用されることを期待するものである。

謝 辞

本指針を作成するに当たり、阪神高速道路公団・技術審議会・鋼構造分科会主査小松定夫大阪大学名誉教授および同・コンクリート分科会主査岡田清京都大学名誉教授には種々御指導を賜った。また、同・合成柱設計・施工指針作成ワーキンググループの藤井学神戸大学助教授、小林和夫京都大学助教授、渡辺英一京都大学助教授、および、北田俊行大阪市立大学助教授ならびにその他関係各位には種々の貴重な御助言をいただいたこと、ここに深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) DIN 18806 Teil 1 : Tragfähigkeit von Verbundstützen, Berechnung und Bemessung, Set. 1981
- 2) British Standards Institution, BS 5400 Part 5 : Code of practice for design of composite bridges, March 1980
- 3) 中井博・吉川紀 : コンクリートを充てんした鋼製橋脚の耐荷性に関する実験的研究、土木学会論文集、第344号/I-1、PP.195~204、1984年4月
- 4) 中井博・吉川紀・寺田博昌 : An Experimental Study on Ultimate Strength of Composite Columns for Compression or Bending、土木学会論文集投稿中
- 5) 中井博・北田俊行・吉川紀 : コンクリートを充てんした鋼製角形柱の鋼板要素の一設計法、土木学会論文集、第356号/I-3、PP.405~413、1985年4月
- 6) Nakai, H. and Yoshikawa, O. : A study on ultimate strength of concrete filled steel beam column by CDC method, Memoirs of the Faculty of Engineering, Osaka City University, Vol. 24, PP.255~269, Dec. 1983
- 7) 中井博・吉川紀・吉田秀博 : 軸方向圧縮力と曲げを受ける長方形断面合成柱の一耐荷力解析、土木学会論文集投稿中
- 8) 阪神高速道路公団 : 合成柱(充てん方式)を有する鋼製橋脚の設計・施工指針(案)、1986年1月
- 9) 西野文雄 : 鋼橋および鋼部材の非弾性不安定挙動と設計基準に関する研究、昭和57年~58年度科学研究費補助金総合研究(A)研究成果報告書、昭和59年3月

- 10) 阪神高速道路公団、(財)建設工学研究所：コンクリートを充てんした鋼製橋脚の施工法等に関する理論的・実験的研究、昭和61年3月
- 11) 土木学会：コンクリート標準示方書・解説、18章型わくおよび支保工、PP.165～166、昭和49年度版
- 12) 中井博：橋梁工学入門(その7)、サスペンションエージ、PP.43～65、昭和51年4月
- 13) 岡島達雄・大岩健次・辻野真一・長谷田直之・岡田謙二・山根昭：複合応力を受けるコンクリートのクリーブ、日本建築学会論文報告集、第242号、PP.1～7、昭和51年4月
- 14) 中井博・吉川紀・山内幸裕・吉田茂・田中実雄：合成柱(コンクリート充てん方式)を有する鋼製橋脚の現場載荷実験、第41回土木学会年次学術講演会概要集、昭和61年11月
- 15) 中井博・河井章好・吉川紀・北田俊行・酒造敏廣：鋼製ラーメン橋脚の実績調査(上、下)、橋梁と基礎、PP.35～40、PP.43～49、1982年6月、7月
- 16) Kitada, T., Yashikawa, O. and Nakai, H.: A Design Method for Steel Plate Elements in Concrete Encased Square Steel Tubular Columns, The First East Asian Conference on Structural Engineering and Construction, PP.1142～1152, Jan. 1968
- 17) 阪神高速道路公団：現場溶接施工マニュアル、昭和60年4月