

— コンクリートを充填した合成柱の概念と設計 —

大阪第一建設部 設計課 杉山 功
同 部 同課 袴田 文雄

要 約

張出しの長い鋼製単柱においては、梁に作用する曲げモーメントが大きくなり、活荷重によるたわみ制限が厳しく、振動や疲労の問題にも少なからぬ影響を与える。合成柱とは、鋼・コンクリートという相異なる材料のそれぞれの特長を活かすように、鋼製脚の柱部、隅角部にコンクリートを充填しようとするものである。これにより剛性を増大し、じん性や耐荷力の向上、振動問題の軽減、鋼重の低減および製作上の複雑さを軽減することができる。本文では、湾岸線（南伸部）出島工区の鋼製脚工事に採用した合成柱の概念と設計について紹介する。

まえがき

鋼とコンクリートは土木建築用構造材料の中で最も代表的な材料であり、それぞれに長所・短所を有している。そのうち最も代表的な特徴は、鋼材料は高い引張強度を有するが、高価であり保守管理を要する。また、コンクリート材料は安価で圧縮強度が高いうえに、基本的には保守管理が不要であるが、引張力に対する抵抗力が小さい。鋼構造が比較的軽量で、コンクリート構造は重量がかさむという傾向は長所にも短所にも数えることができる。

これらの特徴を相互に補完し合った複合体、すなわち合成構造とすることにより、経済的にも構造的にもすぐれた構造体を作りだすことが可能である。

合成構造の最も基本的な例は、鉄筋コンクリー

ト構造であり、また、合成桁構造もその一例である。斜張橋のタワーにコンクリートを用い、桁・ケーブルに鋼材料を用いるケースも、システムとしての合成構造と考えることができる。すなわち、鋼とコンクリートとの合成構造では、大きな圧縮力が作用する部分にはコンクリート材料を用い、引張力が作用する部分では鋼材を用いて補強しようとするものである。

合成構造の一例として鋼製橋脚の柱部にコンクリートを充填する試みがある。建築の分野では、送電鉄塔など小口径の鋼管に適用された事例は多くあるが、土木構造物においては本格的に合成柱が採用された事例は少ない。

コンクリートを充填した鋼製橋脚を用いる最大の利点は、圧縮部材にコンクリートを用いること

であり、次のような効果が期待できる。

- (1) 断面剛性が向上し、たわみを抑制できる。
- (2) 構造減衰が向上し、振動レベルを抑制できる。
- (3) 補剛鋼板の局部座屈耐荷力が増大する。
- (4) じん性が向上する。
- (5) 合成効果により鋼断面が小さくなる。

多くの実験や検討をへて、昭和61年度に「合成柱（充てん方式）を有する鋼製橋脚の設計・施工指針（案）」¹⁾が作成された。これらの検討成果と各種の調査により、湾岸線（南伸部）出島工区（堺市内）において、合成構造を適用した剛度の大きな鋼製単柱を設計している。そこで、合成柱設計における概念と設計の内容について紹介する。

1. 合成柱に関する既往の検討と特徴

コンクリート充填方式の合成柱については、中井、吉川らを中心に数多くの実験・解析がおこなわれている。^{2)~6)}

文献2)では軸圧縮と曲げを同時にうける柱部材、軸圧縮と曲げおよびせん断を同時にうける柱基部について模型実験を行い、合成柱の基本的な挙動に関して実験的に確認している。また、試験的に施工した合成柱について静的・動的な載荷試験にて剛性の増大、減衰効果の増大を確認している。

文献3)では合成柱の耐荷力や相関曲線について解析し、文献1)の実験結果を比較しつつ合成柱の耐荷力に関する解析手法を検討している。

文献4)ではコンクリートを充填した圧縮補剛板の局部座屈耐荷力を解析的に求め、設計法を提案している。

文献5)では充填方式の角型合成柱について、圧縮および曲げ試験を行い、じん性の向上、局部座屈発生後の耐荷力の保持能力を確認している。加えて、合成柱の破壊モードを観察している。

文献6)では湾岸線（南伸部）浜寺工区での実際の橋脚を用いた静的・動的現地載荷試験結果が報告されている。また、剛性の増加、均一なフランジ応力、高い減衰性能などの成果が確認されている。

これらの成果より、合成柱の特徴を次のように整理することができる。

(1) 柱の剛度

柱を剛とすることにより、梁のたわみを抑制し、鋼製脚の疲労、振動に対しての抵抗力を向上することができる。

(2) 減衰

柱にコンクリートを充填することにより、振動に対する構造減衰を大きくし、振動に関連する問題を軽減することができる。

(3) 局部座屈

柱を合成構造とすることにより、鋼板の局部座屈強度を高め、構造物全体の耐荷力の向上、じん性の増大を図ることができる。

(4) 三軸効果

コンクリートに三軸効果を期待することにより、大きな耐荷力やじん性を発揮することができる。

(5) 鋼重の低減

柱部を合成構造にすることにより、鋼断面を有効に活用できる。すなわち、①コンクリートの断面性能を活用することができる。②柱基部の内側リブ構造を省略することができる。③せん断おくれの影響を無視することにより、隅角部・柱部のフランジ鋼重が軽減でき、製作を容易にすることができる。

(6) 構造物管理

コンクリートを充填することにより、鋼内面の劣化、コンクリートの劣化を抑制することができる。

1-1 柱の剛度

図-1に示すような張り出しの長い単柱の柱の剛度について考察するものとする。

端部に加えられる鉛直荷重Pによる鉛直荷変位 δ_T は、柱部の回転変形による変位 δ_c 、と梁部の曲げ変形 δ_b の和で次のように表わされる。

$$\begin{aligned}\delta_T &= \delta_c + \delta_b \\ &= P \ell_c^3 / 3EI_c + P \ell_c^2 h / EI_b \\ &= (P \ell_c^3 / 3EI_c) (1 + 3k) \quad (1)\end{aligned}$$

ここでは、ラーメン柱の解析にならない、剛比 $k = I_b h / I_c \ell$ を用い、 δ_T のうち δ_c のしめる割合を図-2に示す。

図-1に示す構造物 $k = 0.66$ の場合には、鉛直変位 δ_r の66%が柱の回転変形により生じているものである。

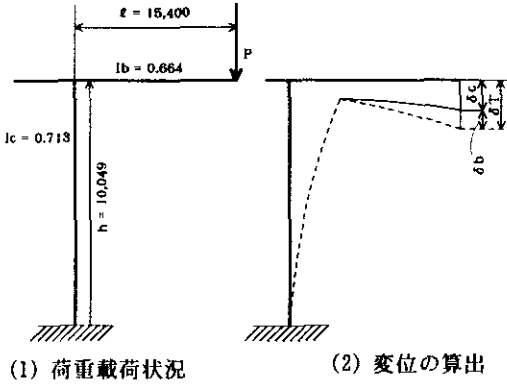


図-1 張り出しの長い単柱の荷重と変形 (単位: mm)

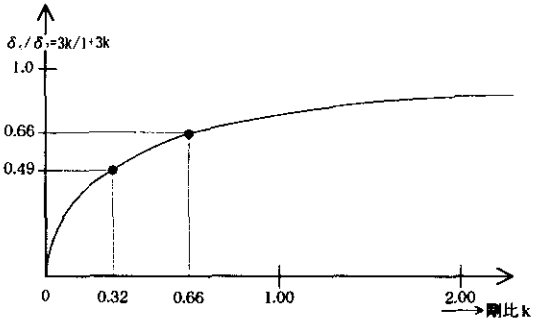
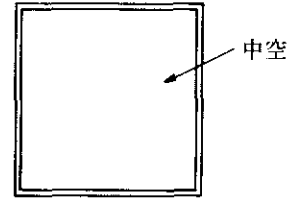


図-2 梁変形のうち柱回転のしめる比率

張り出し長 l の比較的小さな鋼製柱では、剛比 k はさらに大きくなって、柱部の回転変形のしめる割合は増大する。ただしこの場合の鉛直変位量は当然小さくなる。

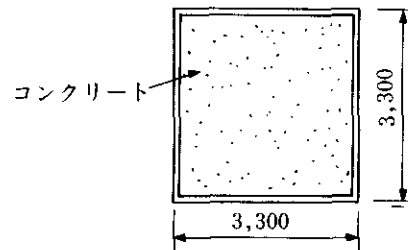
柱部に図-3に示すようにコンクリートを充填し、断面二次モーメントを増加させると、鋼換算断面で断面二次モーメントは2倍以上になる。断面二次モーメントの増加により剛比は $k = 0.32$ となり、変形比 δ_r / δ_r は49%、変形量は鋼製断面の場合の66%に抑えることができる。



$$I = 0.713 \text{ m}^4$$

$$A = 0.399 \text{ m}^2$$

(1) 鋼製柱断面



$$I = 1.471 \text{ m}^4$$

$$A = 1,365 \text{ m}^2$$

(2) 合成柱断面

図-3 鋼製柱と合成柱の断面

1-2 減衰性能

浜寺工区の実橋鋼製橋脚を用いて、コンクリート充填前後で静的・動的な載荷試験を実施している。⁶⁾ 対象橋脚と荷重の載荷方法を図-4に示す。

自由振動実験における対数減衰率は0.2から0.3に50%の減衰性能の増大が見られる。減衰定数では3.2%から4.8%と変化している。減衰性能は振幅の増大とともに効果が大きくなるものと考えられるが、少なくとも5%程度の減衰性能の向上が期待できるものといえる。固有振動数 ($\omega = \sqrt{k/m}$ 、 k : 剛度、 m : 質量) については、同実験では10%の低下が見られた。

これは構造物が剛になって k が増大する以上に、コンクリートの充填による m の増加効果が大きいことが考えられる。実際の構造物では、上部工の死荷重による慣性力が作用するので、 m の変動は脚単独の場合よりも小さく、合成柱にすることにより系の固有振動数が低下することは考えにくいものである。

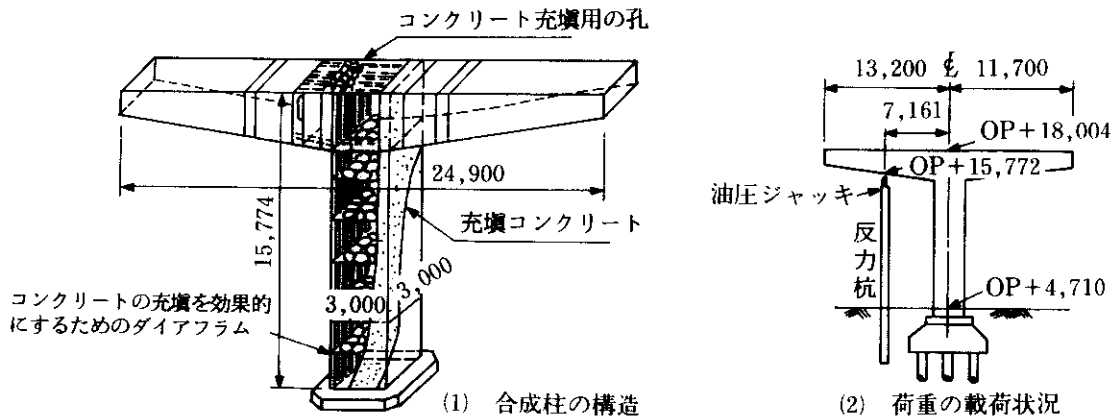


図-4 合成柱の構造と荷重の載荷方法 (単位: mm)

1-3 三軸効果

拘束によって側圧を受けるコンクリート柱の一軸圧縮強度 $\sigma_{\alpha, p}$ は、側圧 f_p を加えることにより著しく増大する。⁷⁾

$$\sigma_{\alpha, p} = \sigma_{\alpha} + 4.1f_p \quad (2)$$

ここに $\sigma_{\alpha, p}$ は側圧をうけた供試体の一軸圧縮強度である。 f_p を増加させれば、一軸圧縮強度と共にじん性も大きく増大することが実験的に知られている。

軸圧縮力 P の作用するコンクリート柱に側圧 f_p を与える拘束条件の基本的なタイプを図-5に示す。

この図の(2)タイプには周圧 f_p は作用しない。これは鋼のポアソン比 $\mu = 0.3$ に比べ、コンクリート

のポアソン比 $\mu = 0.15$ であり、同じ軸ひずみに対し鋼材の方がコンクリートよりも横方向の伸張が大きいからである。(3)(4)のタイプのように鋼材に軸方向ひずみが作用しない構造であれば、鋼板あるいは鉄筋、スパイラル筋がコンクリートに拘束圧を与えることになり、コンクリート柱には大きな圧縮強度をもたらす。

(3)のタイプには、何らかの方法により鋼板に軸方向ひずみを伝達させないように工夫するのが良い。

しかし、コンクリートのポアソン比は圧縮応力に対し一定ではない。図-6⁷⁾ に示すように、圧縮応力が一軸圧縮強度の80%を超えると、体積ひず

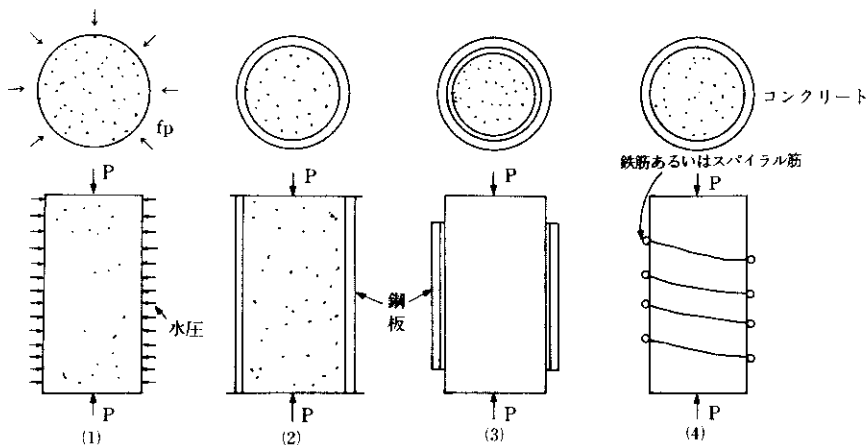


図-5 側圧をうけるコンクリート供試体のタイプ

み速度が増大に転ずる。この領域では三軸効果が得られる可能性がある。

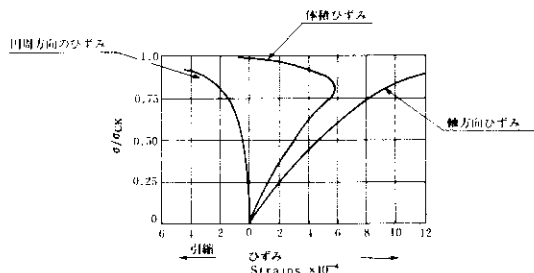


図-6 一軸圧縮試験における発生ひずみ

一方、円型断面と異なり、長方形断面では拘束効果は小さい。このため長方形断面を適用した実構造物の設計においては三軸効果に期待せず、合成柱の耐荷力は鋼とコンクリートとの単純和と見積るのが好ましい。

1-4 鋼板の局部座屈強度とじん性

軸方向リブによって補剛された柱部材、梁圧縮フランジのような圧縮力をうける鋼薄肉部材の設計法は、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編⁹⁾(以下「道示Ⅱ」という。)に規定されている。

合成柱では内部にコンクリートが充填され、コンクリートに埋めこまれた補剛板の局部座屈強度を向上させる。このため、道示Ⅱ.3.2.3に規定されている補剛板の局部座屈耐荷力よりさらに有効に鋼断面を活用することができる。

充填コンクリートによる局部座屈の拘束効果は、補剛板の局部座屈耐荷力を高めるだけではなく、局部座屈を発生した後でもじん性が大きく向上することが実験的に検証されている。⁹⁾

すなわち、合成柱では三軸効果によるじん性以外に、補剛板の拘束による局部座屈後の後座屈強度の保持により、非常に大きく柱のじん性を向上させる効果が期待できる。しかし、弾性設計の範

囲では、後座屈強度やじん性を適切に評価して実際の設計に反映させることはきわめて困難である。

2. 合成柱と鋼製柱の比較

図-7に示す出島工区単柱橋脚に実際の作用荷重(上部工反力および地震荷重)を与えて、鋼重と基礎構造への影響に注目して、合成柱と鋼製柱を比較した。

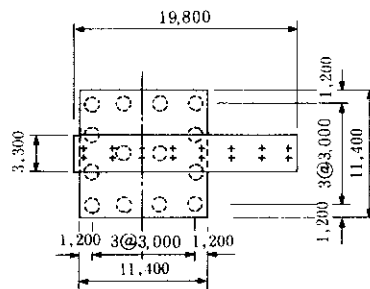
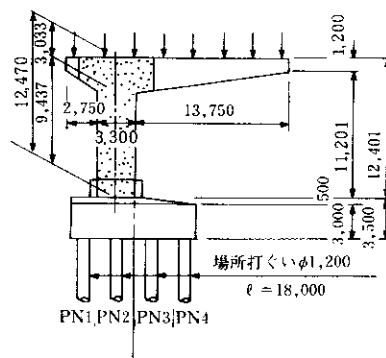


図-7 P3単柱橋脚構造一般図(単位: mm)

合成柱では柱部にコンクリートを充填し、梁端における柱の回転変形によって生じる鉛直変位を抑制することとした。予備検討における両者の鋼重比較によると、合成柱では鋼製柱に比べて15%の鋼重減となっている。

両者の比較において合成柱を採用する場合の鋼重の増減を生み出す主な要因は次のとおりである。

- (1) 梁部には影響がない。
- (2) アンカーフレームの鋼重は、地震時できまる場合にのみ柱部コンクリートの慣性力分だけの

設計条件が緩和される。しかし、主荷重 (D+L) により決まる場合には影響がない。

- (3) 柱基部では、内側リブの簡略化により鋼重が軽くなる。
- (4) 柱部では合成断面とすることで、全幅有効として適用できるので鋼断面がコンパクトにできる。局部座屈応力度のちがいによる影響はそれほど大きくない。
- (5) 隅角部ではせん断遅れの影響を考慮しなくてよい分だけ鋼重が軽減できる。
- (6) 全体として合成柱では鋼重軽減により構造の簡略化が可能である。

活荷重偏載のときの鉛直たわみは、合成柱の場合 24.7mm、鋼製柱の場合 47.9mm であり合成柱の剛度が大きいことがわかる。

次に合成柱を採用する場合の基礎構造への影響を検討する。

合成柱とすることにより全体の剛度が向上するが、柱部の重量が増加することになり、基礎工にどのような影響があるかを調べようとするものである。

基礎杭の安定計算に用いた設計条件およびフーチング下端 (杭頭) での設計断面力を表-1および表-2に示す。また、鉛直ぐいの場合の変位-外力構成式、断面力-変位構成式を表-3に示す。

表-1 杭の安定計算に用いた設計条件

種 別	設 計 条 件 値
杭 長	$l = 17.9\text{m}$
杭 径	$D = 1.2\text{m}$
杭体のヤング係数	$E = 2.7 \times 10^6 \text{tf/m}^2$
横 方 向 K 値	$k_v = 1,100 \text{tf/m}^2$
軸 方 向 バネ定数	$k_v = 47,400 \text{tf/m}$
断 面 積	$A_p = 1.13 \text{m}^2$
断 面 係 数	$Z_p = 0.170 \text{m}^3$
断面二次モーメント	$I_p = 0.102 \text{m}^4$
杭 の 特 性 値	$1/\beta = 0.186\text{m}$
杭の軸直角方向バネ定数	$k_1 = 7090 \text{tf/m}$
“	$k_2 = 19,100 \text{tf/rad.}$
“	$k_3 = 19,100 \text{tf/m/m}$
“	$k_4 = 102,000 \text{tfm/rad.}$

表-2 荷重と応答値比較一覧

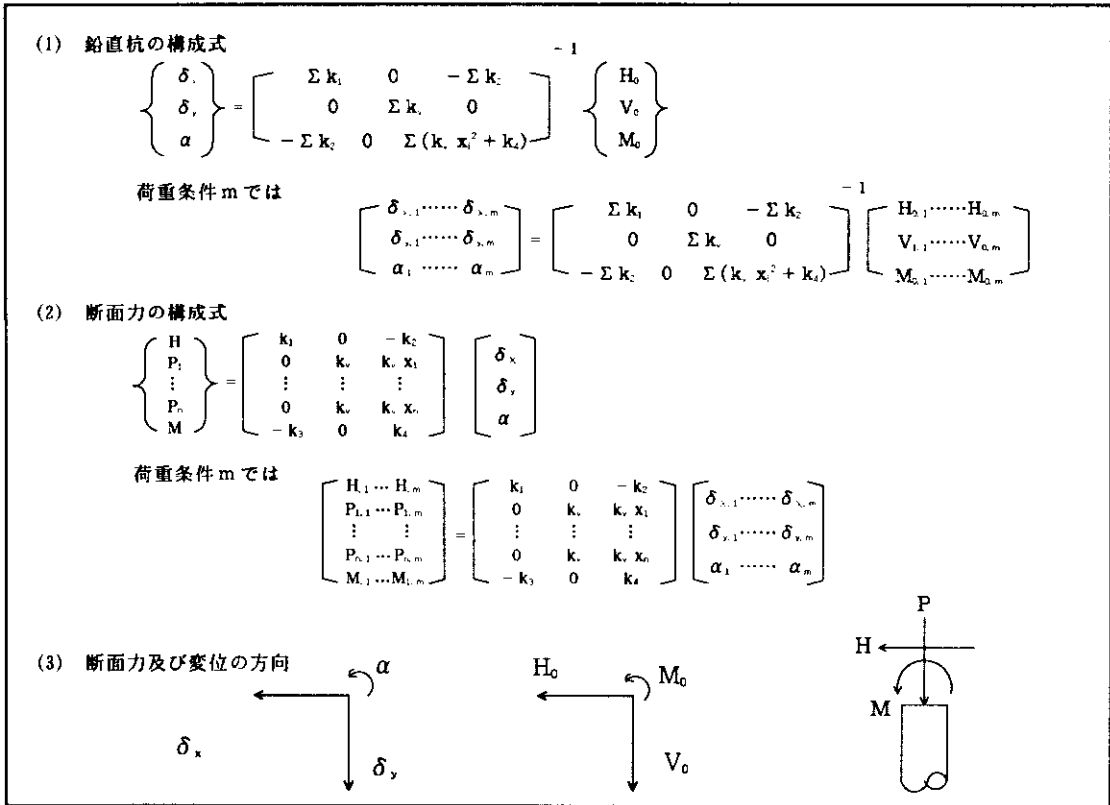
種 別	応 答 因 子	合 成 柱 の 場 合		鋼 製 柱 の 場 合	
		D + L	D + EQ	D + L	D + EQ
設 計 荷 重	H(tf)	0	-370	0	-300
	N(tf)	3188	2692	2866	2370
	M(tf·m)	-3958	-5352	-3958	-4461
変 位	$\delta_x(\text{on})$	-0.117	-0.562	-0.117	-0.460
	$\delta_y(\text{on})$	0.480	-0.406	-0.431	0.357
	$\theta(\text{rad})$	-0.438E-3	-0.703E-3	-0.438E-3	-0.583E-3
杭 頭 断 面 力	PH(tf)	0	-26	0	-21
	PN ₁ (tf)	134	42	111	41
	PN ₂ (tf)	196	142	173	128
	PN ₃ (tf)	258	242	235	211
	PN ₄ (tf)	321	342	298	294
	PM(tf·m)	-22	35	-22	28
許 容 重	PN ₄	335	510	335	510

合成柱の柱部、梁部のコンクリート重量をそれぞれ $\omega = 24.9\text{t/m}$ 、 22.3t/m ($w = 174.3\text{t}$ 、 147.2t) としている。ただし、柱部の根巻きコンクリート部には、鋼製柱であっても衝突を考慮して中埋コンクリートを充填するものとして両者の差に考えないこととする。

この橋脚のような偏心の大きな柱の安定計算では、常時の主荷重 (D+L) 状態により基礎の大きさが決定されるのが一般的である。

常時荷重の場合の鋼製柱と合成柱の杭基礎安定計算により算定された断面力を表-2に示す。梁張り出し側の杭列 PN₄において、鋼製柱の場合の反力が小さくなるけれども、全体の杭本数 14 本を減少させるまでには至らない。したがって、鋼製柱の場合でも、合成柱の場合でも基礎構造には大きな差がないものである。

表-3 鉛直杭の場合の構成方程式



3. 合成柱の設計

合成柱を湾岸線（南仲部）出島工区適用したものである。合成柱が適用される対象橋脚（図-7）は、はり出し長 13.750m、骨組長 15.400m を有する偏心の大きな橋脚である。これは大阪府道大阪臨海線および両側の歩道側の出島出路と、入路および排出路の設置に必要な空間を確保するため、橋脚を単柱形式で中央分離帯内に設置せざるを得ないことによるものである。

昭和56年度に実施した鋼製単柱の張り出し長さ と鋼重の関係実績調査⁹⁾ を図-8に示すが、この図からも分るように、対象橋脚は最大規模の張り出し長さを有するものである。出島工区の橋脚の位置図を図-9に示す。

合成柱の設計にあたっては、「合成柱（充てん方

式)を有する鋼製橋脚の設計・施工指針(案)」に準拠した。設計にあたっての主な考慮事項を次に示す。

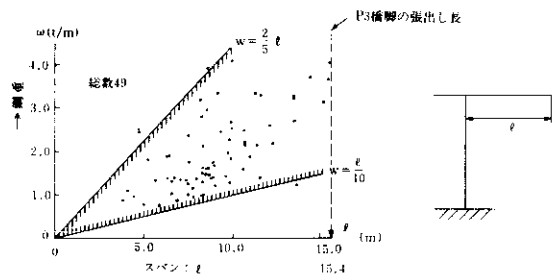


図-8 独立単柱張り出し部材の鋼重 ω とスパン l の関係

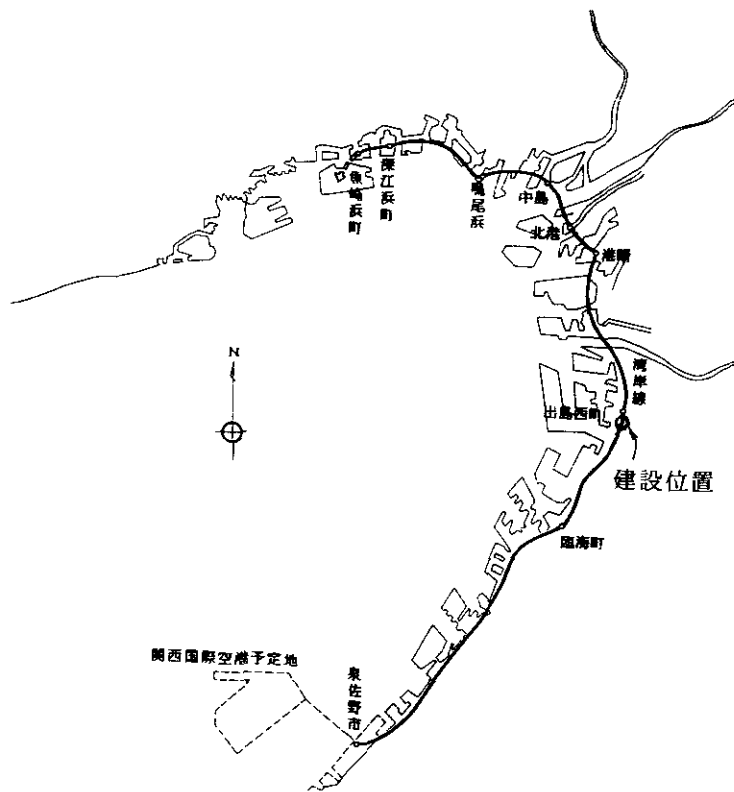


図-9 出島工区合成柱の建設位置図

(1) 適用

合成柱の設計は荷重分担率 γ が $0.2 \leq \gamma \leq 0.8$ の範囲で適用する。

ここで

$$\gamma = P_s / (P_s + P_c) \quad (3)$$

$$P_s = \sigma_y A_s, \quad P_c = 0.85 \sigma_{ck} A_c \quad (4)$$

σ_y : 鋼材の降伏応力 (kgf/cm²)

σ_{ck} : コンクリートの一軸圧縮強度 (kgf/cm²)

A_s : 鋼板断面積 (cm²), A_c : コンクリート断面積 (cm²)

P_s は鋼板による局部座屈を考慮しない終局圧縮荷重 (kgf)、 P_c はコンクリートによる終局圧縮荷重 (kgf)、 γ は軸圧縮部材における鋼板部の圧縮強度比である。対象橋脚 P3 の柱部では、 $\gamma = 0.49$

である。

(2) 荷重

荷重は通常の設計荷重とする。ただし、コンクリートの乾燥収縮は考慮しないものとする。また、終局状態の照査については今後の詳細な検討を行うこととする。

合成柱の内側に打設されるコンクリートは密閉状態にあって極めて望ましい状態で養生されると考えられるので、乾燥収縮を荷重に考慮しないこととしている。

合成柱は、剛性の向上や鋼重の軽減のほか、鋼材の降伏後あるいは局部座屈後にきわめてじん性に富むという特徴を有することが定性的に知られている。すなわち、通常の幅厚比を有する鋼製脚では局部座屈発生後に著しい耐力低下を生ずるも

のである。

一方、RC橋脚に対しては一般にじん性に富んだ設計を行なうことが可能である。しかし、都市内高架道路の下部工のように立地条件に制約を受ける構造物にあっては、鉄筋比が高くなりじん性を向上させることが困難な場合がある。

じん性、すなわち後座屈強度の保持に関しては、合成柱にあっては“定性的”には非常にすぐれた構造であるといえるが、ただちに実際の構造物の設計に反映させるにはまだまだ慎重な吟味が必要であるとの理由でここでは特に考慮していない。

(3) 断面諸量の仮定

設計に用いる断面諸量は次のように仮定するものとする。

- ① 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ヤング係数比は $n = 10$ とし、充填コンクリートの全断面積を有効とする。
- ② 応力度の算定に用いるヤング係数比は $n = 15$ とし引張側のコンクリートを無視した鉄筋コンクリートとして設計する。

合成柱の設計に用いる断面諸量の考え方を図-10に示す。

この図の(1)の場合には断面積および断面二次モーメントとも鋼とコンクリートの単純和で表わされる。また、(2)の場合には鉄筋コンクリート構造設計の慣例的な設計の考え方を適用するものである。

(4) 合成柱における圧縮補剛板の局部座屈強度

圧縮補剛板の局部座屈強度 σ_{cd} を次のように定義するものとする。

$$\frac{\nu \sigma_{cd}}{\sigma_y} = \begin{cases} 1.0 & \lambda \leq 0.2 \\ \beta - \sqrt{\beta^2 - 1/\lambda^2} & \lambda > 0.2 \end{cases} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1}{2} [(1 + 0.412 \sqrt{\lambda(\lambda - 0.2)}) / \lambda^2 + 1] \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \left(\frac{L_e}{\gamma} \right)^2 \quad (7)$$

ν : 安全率

σ_y : 降伏応力度 (kgf/cm²)

E : ヤング係数 (kgf/cm²)

L_e : 有効座屈長 (cm)

γ : 図-11に示すT断面の断面二次半径 (cm)

内側が完全にコンクリートで充填されている合成柱にあっては補剛リブやスタッドで鋼板がコンクリートに完全に密着しているならば局部座屈は発生しないものと考えられる。

しかし、スタッドや補剛板だけでは局部座屈の発生を抑えることはできないことが知られている。そこで、ここでは安全側に圧縮補剛板はダイヤフラム間で両端固定されており、図-11に示すT型断面が有効座屈長 $L_e = L/2$ で、外側にのみ座屈するモードで与えられるものとして局部座屈強度 σ_{cd} を定めたものである。

道示II 3.2.4に規定されている圧縮補剛板の許容応力度値を式(5)と単純に比較することはできない。それはパラメーターが全く異なるからである。式(5)が道示の規定より小さな局部座屈強度を示す場

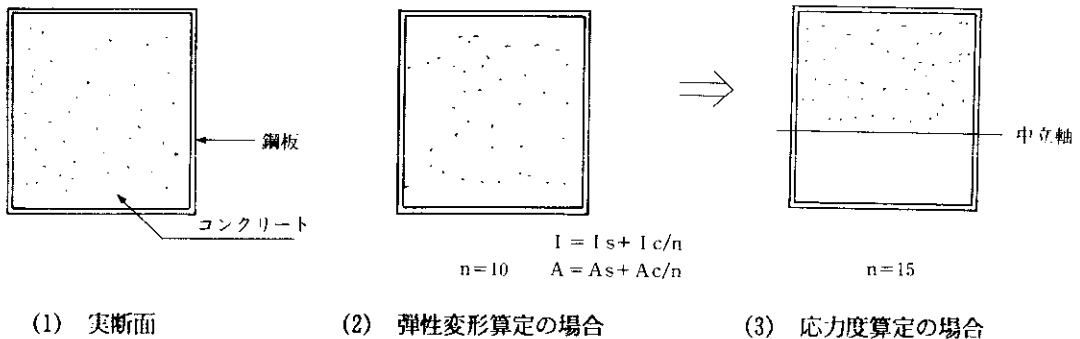


図-10 合成柱の設計に用いる断面諸量の考え方

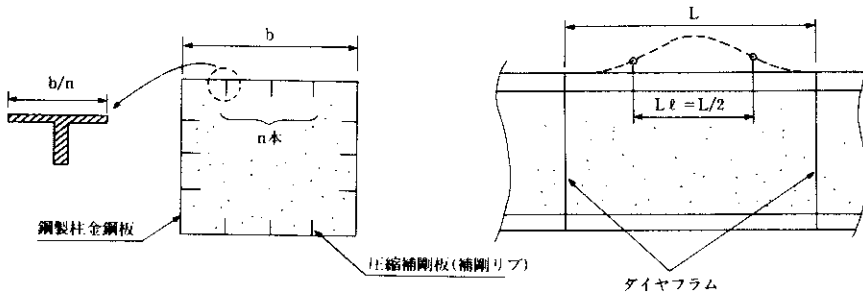


図-11 合成柱に用いる圧縮補剛板の座屈モード

合があるが、その場合には式(5)の適用に注意する必要がある。

合成柱の完成断面では、道示に規定される補剛材の必要剛度を満足する必要はないものと考えられる。

(5) 充填コンクリートの側圧

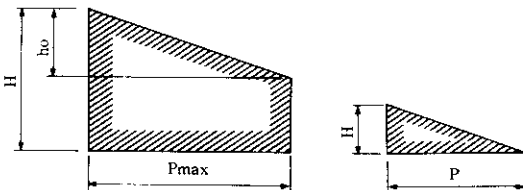
まだ固まらないコンクリートが鋼製柱に与える側圧は、図-12に示す形状にて作用するものとする。

$$P_{max} = \min(2.4H, 0.8 + \frac{80V}{T+20}, 15)(tf/m^2) \quad (8)$$

ここに、

- h_c : P_{max}/γ
- V : コンクリート打設速度 (m/hr)
- T : コンクリート打設時温度 (°C)
- H : 打設高さ (m)
- γ : $2.35t/m^3$

なお、この側圧はコンクリート硬化後も残留するものとする。



(1) $H > h_0$ の時の側圧分布 (2) $H < h_0$ の時の側圧分布
図-12 コンクリートが鋼板に与える側圧

(6) 軸方向圧縮力と一軸曲げモーメントをうける合成柱の設計

軸方向圧縮力 P と一軸曲げモーメント M_0 をうける柱は、次の相関曲線より照査するものとする。

$$(1 + \beta) \left(\frac{\nu P}{P_v} \right)^2 - \beta \left(\frac{\nu P}{P_v} \right) + \left(\frac{\nu M}{M_0} \right) \leq 1.0 \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} M &= M_0 / \left(1 - \frac{P}{P_\sigma} \right) \\ \beta &= 9.17 \gamma^2 - 13.75 \gamma + 4.63 \\ P_\sigma &= \frac{\pi^2}{\ell^2} EI \end{aligned} \right\} (10)$$

ここに、 ν : 安全率

P_v : 柱部の局部座屈とコンクリートの側圧を考慮した軸圧縮耐荷力 (tf)

M_0 : 柱部の破壊抵抗モーメント (tf・m)

P_σ : 柱の弾性座屈荷重 (tf)

ℓ : 有効座屈長 (m)

I : 換算断面二次モーメント (m^4)

ここでは P と M_0 が図-13に示すような相関曲線の内側にあるものとして照査するものとする。なお、 β の係数はパラメータ解析の結果から導いたものを適用するものとする。

(7) せん断おくれ

柱部、隅角部の設計においては次によりせん断おくれの影響は考慮しないものとする。

鋼製橋脚の隅角部の柱フランジに発生する応力は一様ではない。これは梁腹板を通じて伝達され

る断面力がせん断おくれの影響をうけることによるものである。また、柱部フランジに発生する応力も、梁ウェブによるせん断おくれの影響をうけて一様ではない。

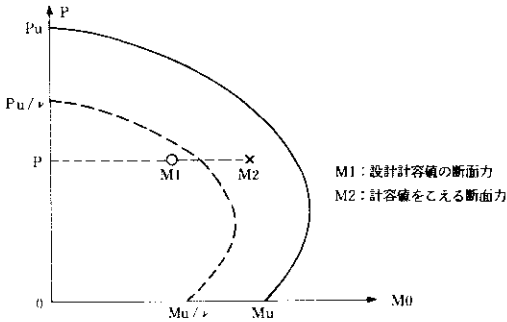


図-13 合成柱の軸力と曲げモーメントの相関曲線

公団の設計基準では後者を有効幅の概念を用いて設計をおこなっている。

すなわち、隅角部の柱部材フランジに発生する応力は次により算定しうる。

$$\sigma = \sigma_B + \sigma_N + \sigma_S \quad (11)$$

ここに、

$$\sigma_B = M/w$$

$$\sigma_N = N/A$$

$$\sigma_S = Z_{av} \cdot ks = \frac{F}{A_w} \frac{b}{d} S (R)$$

$$R = 6A_f/A_w$$

M, N, F: 作用曲げモーメント (tf・m),
作用軸力 (tf), 作用せん断力 (tf)

A_f, A_w: 柱フランジおよび柱ウェブ断面積 (cm²)

b: 柱フランジ幅 (cm)

d: 柱腹板幅 (cm)

S (R): せん断おくれの係数

隅角部梁フランジ応力も同様な考え方により N = 0 として取り扱うものとする。

ここで、S_{max} ≒ 0.46, b ≒ d とすると梁フランジの応力の 25%, 300 ~ 500kgf/cm² の応力がせん断お

くれの影響 σ_s として加わる。

しかし、実験結果²⁾ を考察すると実構造物の柱部はコンクリートと鋼が合成して断面力に対して抵抗し、せん断おくれの影響は現れないことが明らかになっている。したがって、柱隅角部の設計においてはせん断おくれの影響を考慮せず σ_s = 0 とすることとしたものである。また、柱部ではフランジ全幅を有効として設計することとした。

実験結果を再検討したところ、梁部の隅角部においては、合成効果が明らかでなく、しかもダイヤフラムで区切られていることから、安全側をも配慮してせん断おくれの影響を考慮することとした。

(8) 柱ベース部

鋼製脚の柱ベース部は、外側にはアンカーボルトを設置するためのリブ、内側には剛度を保つための格子状のリブが設けられている。一連の実験成果より合成柱においては内側のリブが大幅に簡略化できることが明らかにされた。合成柱の場合の柱基部の構造を図-14に示す。

アンカーボルトの設計、アンカーフレームの設計は通常の鋼製脚の場合と同様である。

(9) ずれ止め

コンクリートを打設する範囲には、ずれ止めとして、鋼板補剛材間に φ13 の頭つきスタッドを示方書に規定されている最大間隔 60cm にて配置している。ただしこれはスタッドにより合成効果を期待するというものではない。スタッドによる合成効果は大きく期待できないことが実験³⁾ により明らかにされている。しかしながら、ここでは、コンクリートと鋼板の密着を定性的に向上させることを目的としたものである。

(10) 溶接

コンクリート充填部では止水性を考慮して接合接合を行うこととしている。

コンクリートが充填される範囲の継手には、① 止水効果の期待、② 将来のボルトや塗装の管理、③ 近年の溶接の信頼性向上等を考慮して、現場接合部は原則として現場溶接を採用している。鋼製脚の柱の現場溶接は、圧縮部材の接合であり、景観、管理上の利点から最近の設計事例では多く取り入

れられている。しかし、梁部に現場溶接が生じた場合には、施工法について施工試験を含めて十分な検討をしなければならないものと考えられる。

(1) ダイヤフラム

コンクリートを充填する部分のダイヤフラムは、コンクリート打設時に空隙が残らないよう設計、施工上の配慮が必要である。

鋼製脚では断面形状の保持を目的に、5mをこえない間隔でダイヤフラムが設けられている。合成柱の完成系では柱部ダイヤフラムは不要であるが、架設系の安定を保つためダイヤフラムを全く省略してしまうことはむずかしいものと考えられる。

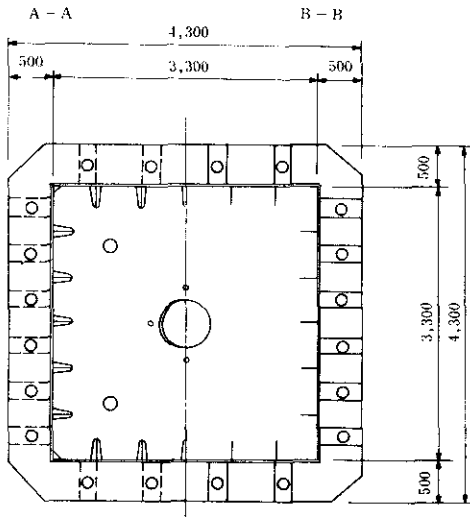
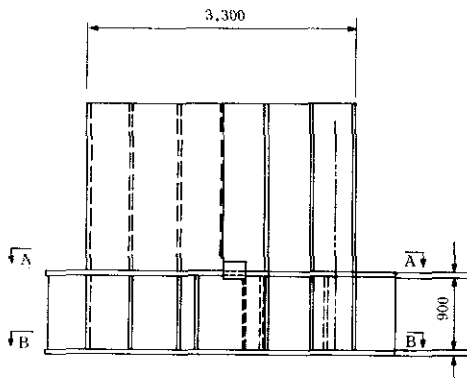


図-14 柱基部の構造 (単位: mm)

合成柱では柱部においてコンクリートと鋼材の合成効果が十分に発揮されなければその成果は期待できない。コンクリートの充填にあたり、ダイヤフラム下面に空隙が存在したり、締固めが不十分であると合成効果が期待できないばかりか、管理上の問題をも生ずることになる。

(2) 荷重集中点の補剛材

支承部の補剛材の設計にあたっては、充填コンクリートによる支圧分担を考えないものとする。

一般の鋼製脚の設計においては、上部工の反力をうける支承位置やジャッキアップ補強位置には鋼製脚の内側にリブを設けて支圧補剛材の設計を行なっている。合成柱の場合には、完全にコンクリートが充填されていれば、支圧補剛材は不要であるものとも考えられる。

しかし、梁の上フランジ下のコンクリートは施工上十分に充填されない場合がある。また、コンクリートのブリージングにより十分なコンクリート強度が期待できないことも考えられるので、支圧補剛材は通常通りの設計にて設置することとしたものである。なお、施工性を配慮して下フランジ側には、図-16に示すように空間をとってコンクリートのまわりを良くしている。

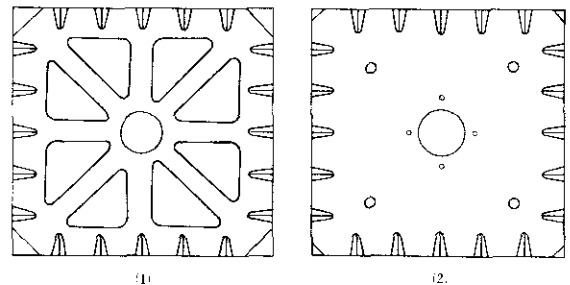


図-15 ダイヤフラムの開口例

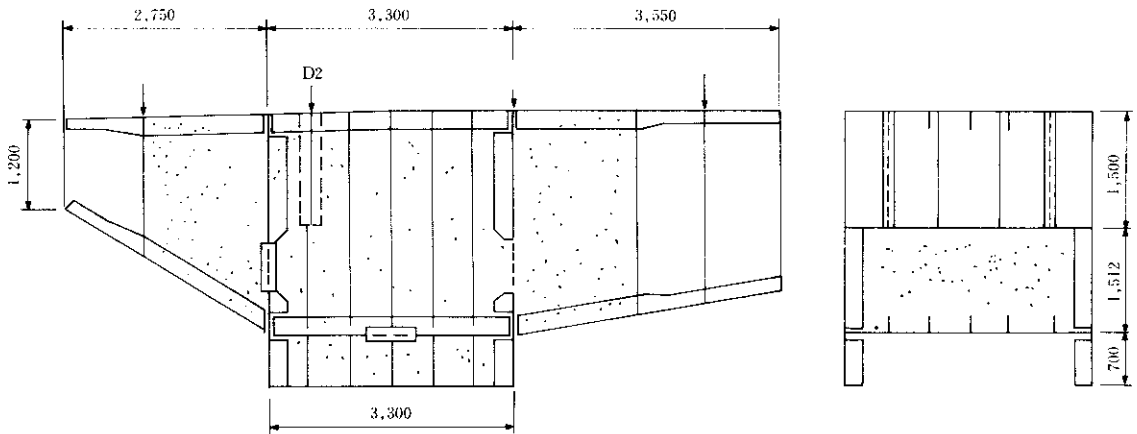


図-16 荷重集中点の補剛材の構造 (単位: mm)

コンクリート打設にあたっては、ダイヤフラム位置でのコンクリートの充填状況が最も懸念されるところである。したがってダイヤフラムやマンホールリブのコーナー部には十分な空間を確保する工夫を施すことが必要である。ダイヤフラムの開口形状の例を図-15に示す。また、コンクリート打設にあたってはダイヤフラムごとに十分な締固めを行い、充填の効果を確認することが必要と考えられる。

あとがき

大阪湾岸線(南伸部)出島工区に採用された合成柱の設計・施工について既応の成果と設計概要を述べた。合成柱には剛度を向上させること以外にもいろいろなメリットがある。このうち局部座屈の取り扱いについてはさらに合理的な評価法を導入する余地があるものと考えられる。また、合成柱のじん性についても設計上反映させることが望ましいものと考えられる。現在の設計法では合成柱のもつ構造特性を有効に利用しているとはいえない面がある。今回の設計例を端緒にしてさらに積極的な検討と評価が望まれるものである。

今回の報告の多くは、既応の実験成果や設計要領などを基本として検討を進めたものである。

最後に、合成柱設計・施工要領(案)作成ワーキンググループ(主査 中井博 大阪市大教授)の委員を始め関係各位に深謝する次第である。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団: 合成柱(充填方式)を有する鋼製橋脚の設計・施工指針(案)昭和61年3月
- 2) 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、1984年4月、pp. 195-204
- 3) 中井博、吉川紀、富田穰、由井洋三; 軸方向圧縮力と曲げモーメントを受ける合成柱の耐荷力、橋梁と基礎、1984年4月、P24-32
- 4) 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設計法、土木学会論文集、第356号・I-3、1985年4月、pp. 405-413
- 5) 中井博、吉川紀、中村一平、袴田文雄、寺田博昌; 合成柱(充てん方式)の圧縮、曲げ耐荷力および付着力に関する基礎実験、橋梁と基礎 1985年6月、pp. 19-27

- 6) 中井博、吉川紀、山内幸裕、田中実雄、吉田茂：合成柱（コンクリート充填方式）を有する鋼製橋脚の現場載荷実験、橋梁と基礎、1987年3月、pp. 17 - 22
- 7) P.Park,T.Paulay："Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons,1975
- 8) 道路橋示方書（Ⅰ 共通論・Ⅱ 鋼橋論）・同解説、（社）日本道路協会、昭和55年
- 9) 阪神高速道路公団：鋼製橋梁の実績調査報告 昭和56年6月、pp. 85