

I-139 コンクリートを充てんした角形柱を構成する部材の設計法について

阪神高速道路公団 正員○吉川 紀 大阪市立大学 工学部 正員 中井 博
 大阪市立大学 工学部 正員 北田 俊行

1 まえがき 鋼管柱の内部にコンクリートを充てんした柱(以下、合成柱という)は引張りに対しては強靱な鋼管を、圧縮に対して有利なコンクリートを有効に使ったものであるが、今までは主として建築の分野において研究ならびに施工がなされてきた。¹⁾最近になって土木構造物、主として鋼製橋脚の柱やモノレールの柱に合成柱を利用すべく研究が実施されだしてきた。^{2),3),4)}合成柱の力学的利点は極めて靱性に富み、耐震上有利で、鋼製橋脚の弱点である局部屈曲の発生をコンクリートにより阻止し、コンクリートの脆性崩壊、剥落を鋼管により防止し、耐荷力及び剛度が増加、剛度の低下を防止できることにある。しかし、合成柱の外側の鋼板、とくに補剛材を有する鋼板の設計法について不明確な点が多い。そこで、本研究では弾塑性有限変位解析⁵⁾を用いて外側の鋼板の設計法について検討した結果を報告する。

2 無補剛鋼板の設計法の検討 補剛材のない鋼板の場合には、図-1に示すような充てん前後の座屈波形が考えられる。すなわち、充てん前は周辺単純支持板、充てん後は周辺固定支持板として、極限応力度を求めることができる。そこで、 $b/150$ の初期たわみと降伏点 σ_y の40%の圧縮残留応力度が存在する場合の周辺単純支持板と周辺固定支持板の解析を行った。とくに、充てん後、充てんコンクリートによる鋼板側辺の面内変位拘束が予想されるので、側辺の面内変位拘束の状態の異なる圧縮板について解析を行った結果、以下の2点のことがわかった。

①角形合成柱の鋼板においては、充てんコンクリートによる側辺の面内変位拘束が極限強度に及ぼす影響は小さく無視してよい。

②充てんコンクリートの影響により、弾性範囲内では、見かけ上、鋼板の面内剛性は上昇する。すなわち、充てん前は式(1)、充てん後は式(2)により鋼板の極限応力度が求まる。

・充てん前

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{max}/\sigma_y &= 1.0 & \{R_s \leq 0.5\} \\ &= 0.390(R_s - 0.5)^2 - 0.911(R_s - 0.5) + 1.0 & \{0.5 < R_s \leq 10\} \\ &= -0.146R_s + 0.015/(R_s - 0.8) + 0.713 & \{10 < R_s \leq 21\} \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 $R_s = 363 \times 10^{-4} \sqrt{\sigma_y} \cdot (b/t)$

・充てん後

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{max}/\sigma_y &= 1.0 & \{R_f \leq 0.5\} \\ &= 0.433(R_f - 0.5)^2 - 0.831(R_f - 0.5) + 1.0 & \{0.5 < R_f \leq 13\} \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 $R_f = 222 \times 10^{-4} \sqrt{\sigma_y} \cdot (b/t)$

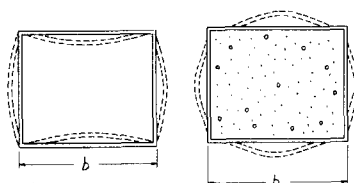


図-1 充てん前 (a) 充てん後 (b)

図-1 無補剛鋼板の座屈波形

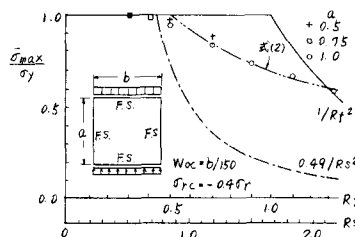


図-2 周辺固定支持板の極限応力度曲線

3 補剛鋼板の設計法の検討

補剛材を有する鋼板の場合には、充てんコンクリートの拘束により次の3つの利点が考えられる。①充てんコンクリートの存在により補剛材間の板パネルが内側にたわむことができず(図-3)座屈波形は周辺固定

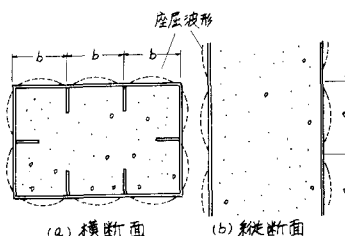


図-3 補剛板の板パネルの座屈波形

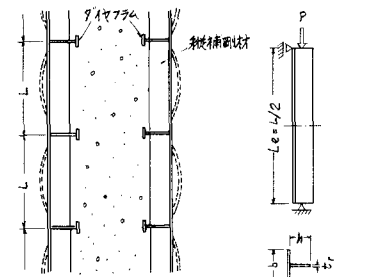


図-4 ダイヤフラム間の補剛板パネルの座屈波形

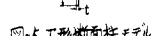


図-5 T形断面柱モデル

支持板に似た波形を有し、板パネルの局部座屈強度が上昇する。②補剛板パネルにおいても同様な理由で、ダイヤフラム位置で固定支持となる座屈波形が発生し(図-4)、有効座屈長がダイヤフラムの間隔の $1/2$ にとれる。③補

剛材の横倒れ座屈が充てんコンクリートにより拘束され、補剛材の突出幅厚比 R/tr を大きくした設計が可能となる。したがって、板厚 t を薄くし、突出幅 R を大きくすることにより、座屈に対して必要な断面 2 次モーメントが確保できるため、鋼重の低減が期待できる。さらに、座屈後における補剛材間の板パネルに働く面外方向の反力は、補剛材の剛度と、コンクリートと補剛材の間の付着力とで支持されるが R が大きくなることにより、コンクリートの付着力の増大も期待できる。この付着力の評価は非常に難しいので、安全側の見地より、それを無視すると、次のような補剛鋼板の設計手順が考えられる。

(1) 補剛材間の板パネル：完全な周辺固定支持板として扱うことはできないが、補剛板の全体座屈という面からは、板パネルの局部変形は極めて部分的なものであり、 $R/t \leq 0.5$ なる補剛板においては、板パネルの局部座屈は無視できるものとみなして設計する。

(2) 補剛板パネル：板パネルが局部座屈を起こさない場合、有効幅を板パネル幅 b に等しくとり、有効座屈長 L_e を $L/2$ にとった図-5に示すような T 形断面の柱モデルアプローチにもとづいて設計する。このような T 形断面柱の極限応力度は、たとえば、図-6に示す ECCS⁷⁾ の曲線 C を用いて求めることができる。この図における λ は式(3)で与えられる細長比パラメータである。

$$\lambda = \sqrt{\sigma_y / \sigma_{cr}} = \sqrt{\sigma_y / E} \cdot L_e / (\pi r) \quad (3)$$

ここに、 r は回転半径である。この柱モデル・アプローチの妥当性を確認するために、図-7に示すような解析モデルについて、弾塑性有限変位解析を行った。その結果を表-1に示す。

また、これらの結果を図-6の中にプロットした。ECCS の曲線 C を用いた柱モデル・アプローチによる結果は弾塑性有限変位解析による結果と傾向がよく一致している。したがって、合成柱の補剛鋼板の極限応力度の簡易計算法として、上記の柱モデル・アプローチが有効であると考えられる。

4. まとめ さらに合理的な設計法を提案するためには、実験などにより鋼板と充てんコンクリートの連成挙動を十分に解明することが必要である。また、 R/tr および b/t の大きな補剛板の架設時における極限強度特性の把握と近似公式の開発も必要である。

参考文献 1) 日本建築学会：鋼管コンクリート構造設計規準・同解説 1967 2) 金井、大塩：コンクリート充てん鋼管の耐荷力(その1)、土木研究所資料、オ1728号、昭和56年8月 3) 中井、吉川：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、オ344号 I-1 昭和59年4月 4) 成田、佐伯、金井：コンクリート充填鋼管の耐荷力(その2、曲げ部材)、日本天然会議、耐風耐震構造専門部会、オ15回合同部会、筑波、1983年5月 5) 小松、北田、宮崎：残留応力および初期たわみを有する圧縮板の弾塑性解析、土木学会論文報告集、オ244号、1975年12月 6) 小松、北田：初期不整を有する圧縮板の極限強度特性に関する研究、土木学会論文報告集、オ270号、1978年2月 7) ECCS: European Recommendation of Steel Construction The Constructor Press, 1978

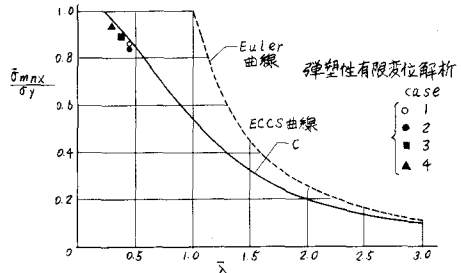


図-6 ECCS曲線とT形断面柱の解析結果

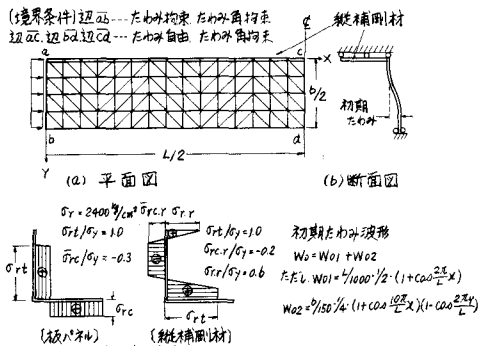


図-7 T形断面柱解析モデル

表-1 解析モデルの手法と解析結果

case	1	2	3	4
b (cm)	55.0	55.0	55.0	55.0
t (cm)	1.2	1.2	1.2	1.2
h (cm)	15.6	14.1	15.6	15.6
tr (cm)	0.975	0.881	0.975	0.975
Le (cm)	150.0	125.0	125.0	100.0
Ys/Ye, req	1.01	1.00	1.45	2.25
	0.423	0.417	0.353	0.282
① σ_{max}/σ_y	0.851	0.841	0.893	0.929
② σ_{max}/σ_y	0.889	0.889	0.926	0.961

①弾塑性有限変位解析 ②ECCSの曲線C
補剛板幅 $B=275\text{cm}$ 、縦補剛材本数 $n=4$ 、補剛材間の板パネルの幅厚比 $R/tr=0.5$ ($R=0.815$)、補剛材板材料の降伏点 $\sigma_y=2400\text{N/cm}^2$ 、縦補剛材の突出幅厚比 $R/tr=16$ 、 Y_e は縦補剛材間比、 Y_s, req は道路橋示方書で定まる Y_e の必要最小値