

鋼製積層型支承板を用いた地下空間用合成鋼管柱の現場への初適用に向けた実施設計

東京地下鉄株式会社 正会員 ○岡ノ谷圭亮 非会員 橋口弘明 正会員 大塚努
 株式会社横河 NS エンジニアリング 正会員 岩橋正佳 正会員 前島稔
 メトロ開発株式会社 正会員 新井泰

1. はじめに

東京メトロでは、長きにわたり地下駅箱型トンネルの合成鋼管柱の支承板として鋳鋼製朝顔形支承板（以下、朝顔形支承板）を多用してきた（図-1、写真-1）^{1) 2)}。しかし、調達先の手大鋳造メーカーが撤退し、今後の新線建設等の大型プロジェクトにおいて大量の合成鋼管柱が必要になると、製造工場の能力や性能確保の観点から、朝顔形支承板に準じた品質の支承板を調達することが困難になるリスクが想定された。このような状況も踏まえて筆者らは、朝顔形支承板に代えてドーナツ型の鋼製円盤（以下、鋼製円盤）を積層した鋼製積層型支承板（以下、積層型支承板）の開発を行った³⁾。本稿では、新たに開発した積層型支承板を用いた合成鋼管柱の実現場への初適用に向けた実施設計の内容について述べる。

2. 合成鋼管柱の仕様

今回開発した積層型支承板を用いた合成鋼管柱の仕様は図-2 に示す通りで、開発要素としては、形状を朝顔形に近似すべく設計板厚と外径を変化させた 2 枚の鋼製円盤を積層し、作用軸力の円滑な伝達を図ることとした。具体的には図-3 に示す通りで、鋼管と積層型支承板は溶接で接合するとともに、鋼管内はコンクリートを現場で中詰めし、RC 躯体と構造系の一体性を図るものである。なお、東京メトロにおける積層型支承板の材質は SM490B、鋼管の材質は SM490B、SCW490-CF または STK490、そして中詰めコンクリートの配合は 50-18N を標準としている。

3. 鋼製積層型支承板および支圧コンクリートの設計仕様

合成鋼管柱の設計は、鋼管、支圧コンクリート、支承板のそれぞれで応力度照査を実施することとなる。鋼管については、現行の照査内容と同様に柱部へ作用する軸力を鋼管とコンクリートのそれぞれの単純累加として照査した。支圧コンクリートおよび支承板については、図-4 に示す要領で、柱部へ作用する軸力から支圧反力 $W1$ および $W2$ を算出し、それぞれの照査式にあてはめる。なお、東京メトロでは作用する軸力のほか偏心量を 20mm 考慮することとしており、曲げモーメント相当の $W2$ なる支圧面反力を考慮している。

4. 現場への初適用に向けた鋼製積層型支承板の実実施設計

(1) 設計条件

設計法には、限界状態設計法を適用し、支承板の形状寸法を図-5 に、設計軸力、安全係数等の設計諸条件を表-1 に各々示す。

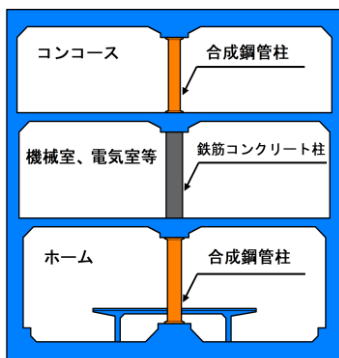


図-1 合成鋼管柱の適用例



写真-1 合成鋼管柱の設置状況

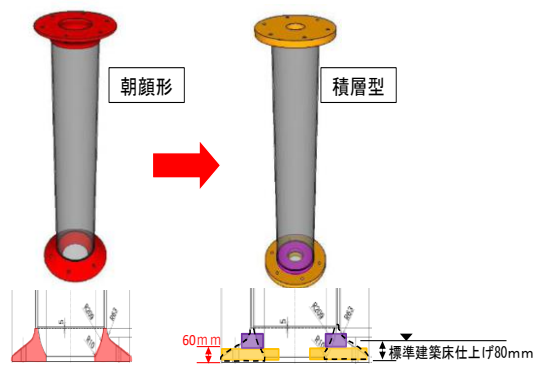


図-2 積層型支承板を用いた合成鋼管柱の仕様

キーワード 合成鋼管柱, 支承板, 鋼製円盤, 積層, 地下空間, 地下鉄

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野3丁目19-6 東京地下鉄株式会社 改良建設部 TEL 03-3837-7228

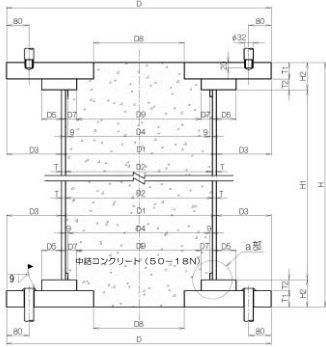


図-3 合成鋼管柱の仕様

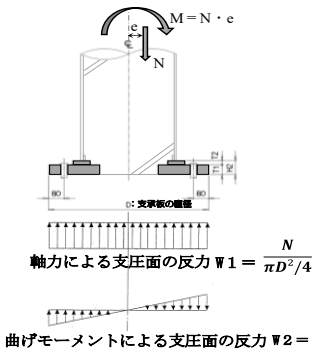


図-4 積層型支承板の設計用支圧反力分布

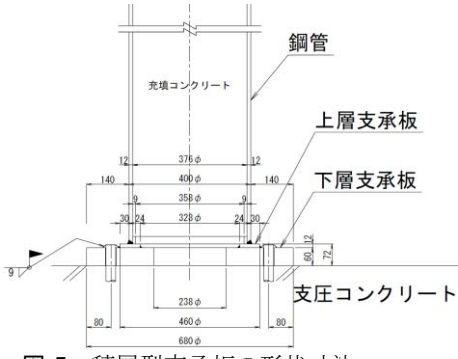


図-5 積層型支承板の形状寸法

表-1 設計諸条件

設計軸力N (kN)	偏心量e (mm)	鋼管外径φD1 (mm)	積層型支承板 SM490B			鋼材の引張降伏強度の特性値fsyk (N/mm ²)	支圧コンクリートの設計基準強度fck (N/mm ²)	支圧分布面積における桁幅B (m)
			外径φD (mm)	設計板厚 (mm)				
3,500	20	400	上層板460	鋼管基部の積層支承板厚H2	72	295	24	1050
			下層板680	段落ち部の支承板厚T1	60			
構造解析係数γa	部材係数γb	コンクリートの材料係数γc	鋼材の材料係数γs	構造物係数γi				
1.00	1.1	1.30	1.05	1.20				

表-2 照査結果

支圧コンクリートの支圧応力度σc (N/mm ²)	支圧コンクリートの設計支圧強度σad (N/mm ²)	支圧コンクリートの照査結果(γi・σc/σad ≤ 1.0)	支承板種別と厚さの呼称	積層型支承板の設計曲げモーメントMr (kN・m)	積層型支承板の設計曲げ耐力Mud (kN・m)	積層型支承板の照査結果(γa・γb・γi・(Mr/Mud) ≤ 1.0)
11.91	28.43	0.55	鋼管基部の積層支承板厚H2	215.0	305.0	0.93
			段落ち部の支承板厚T1	137.3	243.6	0.74

(2) 支圧コンクリートの応力度照査

照査では、終局限界状態に対して構造物係数 γ_i を 1.2 として、コンクリートに作用する支圧応力度 σ_c がコンクリートの設計支圧強度 σ_{ad} 以下であることを確認する ($\gamma_i \cdot \sigma_c / \sigma_{ad} \leq 1.0$)。ここで、支圧応力度 σ_c は、支圧応力度 $W1$ と $W2$ の合力である ($\sigma_c = W1 + W2$)。また、設計支圧強度 σ_{ad} は、コンクリート面の支圧分布面積を考慮した割増係数 η を用いて、設計基準強度 f_{ck} から支圧強度を求め、コンクリートの材料係数 γ_c ($=1.2$) で除したものである ($\sigma_{ad} = \eta \cdot f_{ck} / \gamma_c$)。

(3) 支承板の応力度照査および照査結果

照査では、終局限界状態に対して構造物係数 γ_i を 1.2 として支承板に作用する設計曲げモーメント M_r が設計曲げ耐力 M_{ud} 以下であることを確認する ($\gamma_a \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i \cdot (M_r / M_{ud}) \leq 1.0$)。ここで、 M_r は、コンクリートの支圧応力度 σ_c ($=W1+W2$)、支承板の半径 R 、支承板照査位置の半径 r との関係により定式化されている ($M_r = \pi/3 (W1+W2) (2R^3 - 3R^2r + r^3)$)。また、 M_{ud} は、鋼材の引張降伏強度 f_{syk} 、半径 r の位置の支承板厚 T との関係により定式化されている ($M_{ud} = f_{syk} \cdot \pi \cdot r \cdot T^2 / (3 \cdot \gamma_s)$)。今回の支承板では、鋼製円盤を 2 枚積層しているため、照査では鋼管基部の積層支承板総厚 $H2$ (2 枚分の積層厚 $T1+T2$) および段落ち部の支承板厚 $T1$ (下層板厚) のそれぞれで M_r および M_{ud} を算出する。なお積層型支承板の開発意図は、朝顔形支承板に準じた作用軸力の伝達特性の確保にあるので、支承板厚 $T1$ における照査結果が支承板厚 $H2$ における照査結果を上回らないように支承板厚を設定するものとした。これらの照査結果を表-2 に示す。支圧コンクリートの照査結果には、やや余裕を残しているが、積層型支承板全体としては、合理的な諸元を得られているといえる。



写真-2 ドーナツ型の鋼製円盤



写真-3 鋼製積層型支承板

5. おわりに

新たに開発した積層型支承板 (写真-2,3) を用いた合成鋼管柱の初適用に向けた実施設計の要点について概説した。今後は様々な土被り、形状寸法を有する地下鉄箱型トンネルへの適用を目的として柱部へ作用する軸力ごとに第 4 章で示した照査を行い、朝顔形支承板同様の標準諸元表の策定を実施していく所存である。

参考文献

1) 東京地下鉄株式会社：一般設計図並びに標準図, 2021.7
2) 渡邊健, 木川富男, 森崎充：新しい地下構造用合成鋼管柱の開発, 土木学会論文集, No.480/VI-21, pp.43-52, 1993.12
3) 岡ノ谷圭亮, 大石敬司, 大塚努, 高橋正也, 前島稔, 岩橋正佳, 新井泰：鋳鋼朝顔形支承板に代わる鋼製積層型支承板を用いた地下空間用合成鋼管柱の開発, 土木学会論文集 F2 (地下空間研究), Vol.78, No.1, pp. 33-50, 2022