

照明柱基礎における中空角形鋼管柱ソケット接合部の曲げ挙動に関する検討

鹿島建設 (株) 正会員 ○芝田 涼希
 國陽電興 (株) 正会員 川満 逸雄

大阪公立大学大学院 正会員 角掛 久雄
 大阪市立大学大学院 学生員 米本 壮汰

1. 研究背景・目的

老朽化した埋込式照明柱の更新問題に対する解決策として、著者らは、ソケット接合による鋼管柱更新工法の適用性について力学的検討を行ってきた^{例例えば}1)。本工法は地上部を切除した既設柱の基礎埋設部に、小断面の更新柱を所定長差し込み、無収縮モルタルの充填により二重鋼管を合成し、更新柱と既設基礎を連結するものである。本研究では、角形鋼管を使用した柱高3.5m程度の更新用照明柱(図-1)への適用を想定して、矩形中空断面におけるソケット接合の力学的特性を明らかにすることを目的とした。

2. 支持性能に関する予備検討

機械的ずれ止めを有しないソケット接合のせん断伝達機構は、鋼管モルタル間の相互拘束効果に依存し、矩形柱の支持性能は円形柱に比べて著しく低い。そこで、矩形中空断面に鋼管の面外変形を抑制する簡易な形状保持具(図-2)の導入を試みた。押抜き試験により付着摩擦特性の改良に一定の効果が認められ、照明柱への適用上十分な支持性能(上部構造の死荷重に対する摩擦力の安全率 $F_s \geq 10$)が示された。

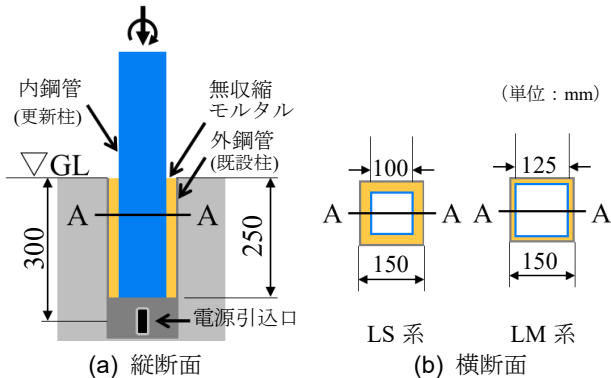


図-1 ソケット接合を適用した照明柱基礎

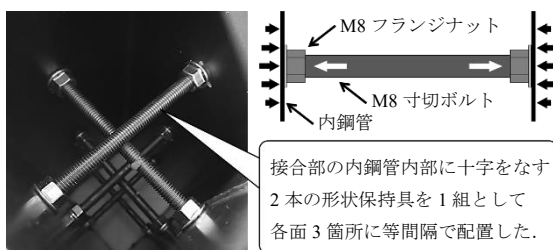


図-2 形状保持具の導入

3. 静的曲げ試験とその再現解析の方法

一般に照明柱はその水平投影面に受ける風荷重を設計外力とする²⁾。接合部は、使用上想定する暴風時の作用に対し弾性的かつ一体的な挙動を保ち、経年劣化や種々の作用に対して一般部に先んじて全体系に致命的影響を及ぼす損傷が生じないことを要する。そこで、単純梁方式の対称3点曲げ試験(図-3)を行い、ソケット接合部の曲げ挙動を検証した。

また、汎用構造解析システム DIANA FEA 10.5 を用いて1/4対称モデル(図-4)による再現解析を行った。内鋼管は一軸引張試験結果を元にしたマルチリニア則で再現し von Mises 降伏条件を与え、その他部材は線形弾性体とした。予備検討に基づき、内鋼管モルタル界面には摩擦係数 $\mu=0.75$ 、モルタルには体積膨張率 $\epsilon_v=0.15\%$ を与え、その他界面は剛結とした。外鋼管上の支間中央載荷点には載荷方向の並進拘束を設け、内鋼管の支点位置に反力方向の強制変位を与えた。

部材の材料特性および再現解析において適用した有限要素を表-1に示す。

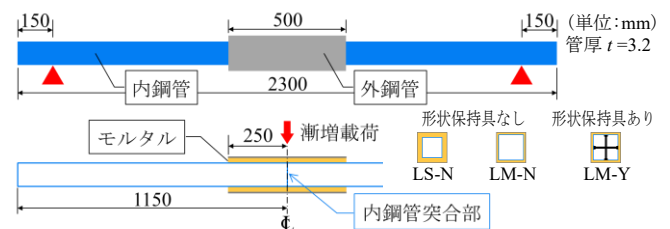


図-3 試験体と荷重方法

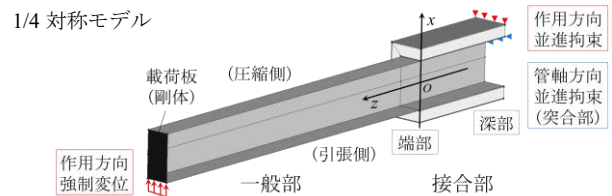


図-4 再現解析モデル

表-1 部材諸元

部材	材種	試験体	Young 率 (kN/mm ²)	Poisson 比	0.2%耐力 (N/mm ²)	要素
内鋼管	STKR400	LS-N	215	0.28	371	シェル
〃	〃	LM-N, LM-Y	201	0.30	326	〃
グラウト	無収縮モルタル	LS-N, LM-N	27.9	0.26	-	ソリッド
〃	〃	LM-Y	27.0	0.25	-	〃
外鋼管	STKR400	LS-N, LM-N, LM-Y	197	0.28	363	シェル
フランジナット	鋼	LM-Y	(200)	(0.3)	-	ソリッド
寸切ボルト	鋼	LM-Y	(200)	(0.3)	-	トラス

キーワード 照明柱, ソケット式接合, モルタル充填二重鋼管, 角形鋼管柱, 曲げ挙動, 局部座屈
 連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂1丁目3-8 KTビル 鹿島建設株式会社 海外土木事業部 TEL 03-5544-1111

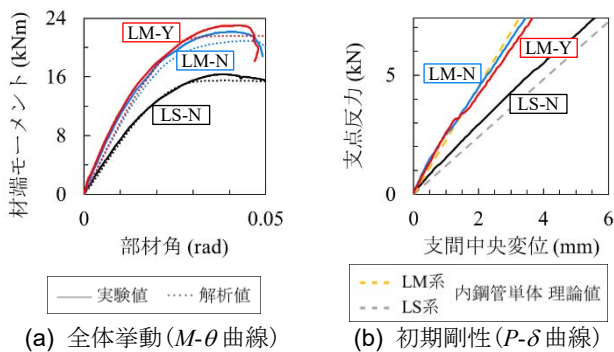


図-5 荷重変形関係

表-2 終局耐力

試験体	材端モーメント (kN・m)		
	理論値	実験値	解析値
LS-N	16.2	16.1 (-1.0%)	15.5 (-4.2%)
LM-N	22.7	22.1 (-2.4%)	20.9 (-7.9%)
LM-Y		23.0 (+1.4%)	21.6 (-4.7%)

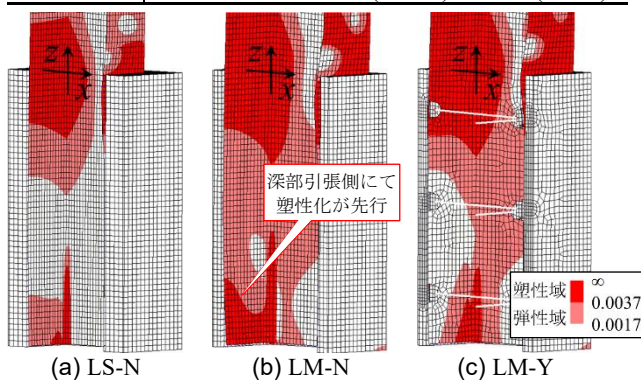


図-6 終局時の相当ひずみ分布

4. 結果と考察

4.1 曲げ剛性および終局耐力

実験とその再現解析より得られた材端モーメント部材角関係を図-5(a)に示し、材端モーメントが暴風時作用モーメント（設計基準風速 60m/s）以下となる荷重範囲における荷重変位関係の実験値を、内鋼管単体の理論値とともに図-5(b)に示す。また、終局材端モーメントの実験値および解析値と内鋼管の全塑性モーメント（理論値）を表-2に示す。

初期剛性について、LS系では断面合成による補強効果が示された一方、LM系では認められず、接合部の一体性が十分であるとは言えない。またLM-Nは、LS-Nに比べて全塑性モーメントに対する終局耐力が低く、両者の崩壊挙動には差異が認められた。

4.2 内鋼管の塑性化過程

再現解析より得られた終局時の相当ひずみ分布を図-6に示す。LS-NおよびLM-Yでは接合部端部圧縮側にて局部座屈が伸展した後、端部引張側における塑性域の拡大が崩壊に繋がった。一方、LM-Nでは端部引張側の降伏に先んじて深部（突合部付近）引張側の局部座屈に伴う塑性化が顕著に伸展した。

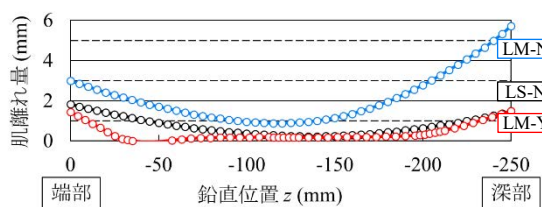


図-7 引張側の肌離れ

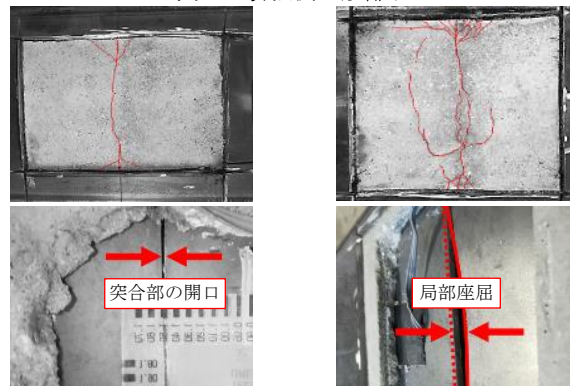


図-8 深部（突合部付近）引張側の損傷

4.3 破壊性状

再現解析より得られた終局時の接合部引張側における内鋼管のモルタルからの肌離れ量を図-7に示す。接合部深部にてLM-Nの局部座屈が卓越した一方、LM-YではこれがLS-Nと同程度まで抑制された。

載荷後の試験体における接合部深部引張側のモルタルおよび内鋼管の破壊性状を図-8に示す。LS-Nに比べてLM-Nでは深部断面の破壊が顕著に見られ、接合部深部における局部座屈の伸展が全体系に対する致命的損傷となり得ることが示唆された。

5. 結論

LM系では、照明柱の受ける風作用下において接合部の十分な一体性が認められなかった。LS-Nでは接合部端部引張側における内鋼管の降伏が主たる崩壊要因であったが、LM-Nでは接合部深部引張側における局部座屈が卓越し、内鋼管の拔出が助長され、比較的脆性的な崩壊に至った。

形状保持具は接合部の一体性には殆ど寄与しない一方、局部座屈の抑制に対する効果が認められた。LM-Yは深部座屈先行型の崩壊を免れ、LS-N同様に端部降伏先行型の崩壊に至った。形状保持具の導入には崩壊機構の制御に対する有用性が期待される。

照明柱基礎への適用性については内鋼管の幅厚比や基礎の影響等を踏まえてさらなる検討を要する。

参考文献

- 1) 角掛久雄, 菅祐太朗, 川満逸雄: 埋込み式基礎に対する照明柱のソケット式接合に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.2, pp.961-966, 2020.
- 2) 建設省: 道路附属物の基礎について, 道企発第52号, 1975.