

論文 照明柱基礎へのモルタル充填二重鋼管構造の適用性に関する検討

菅 祐太郎*1・角掛 久雄*2・川満 逸雄*3・塩津 良将*4

要旨：近年，社会基盤施設の老朽化に伴い道路附属物の老朽化も進展している。照明柱においては基部の腐食が問題となっている。そこで，埋め込み式基礎の照明柱の新たな更新方法としてモルタル充填二重鋼管構造に着目し，基礎部との連結構造としての適用性の検討を行った。本研究では，二重鋼管構造となる基礎部への埋め込み長をパラメータとし，3点曲げ実験を行った。その結果，補強により曲げ耐力の向上を確認し，また，一定以上の埋め込み長であればモルタルには影響を及ぼさないことが分かった。さらに，軸ひずみの挙動より合成鋼管として一体性を有する範囲が明らかになり，本工法の適用可能範囲に関して言及した。

キーワード：モルタル充填二重鋼管，照明柱基礎，腐食，曲げ特性

1. はじめに

昨今，社会基盤施設の老朽化が問題として取り上げられており，補修補強や更新に向けた研究が随所で行われている。また，それとともに，道路附属物も老朽化が進行しているのが現状である。特に本研究で対象とする照明柱に関しては，毎年のように倒壊事故が発生しており，中には人的被害を引き起こした事例も存在している。そのため近年になって，国や地方自治体では道路附属物に対する点検要領が作成されている。また，大阪府の試算によると平成 30～32 年に更新が必要となる照明柱の数は年間 1000～1500 本程度と推定されており¹⁾，安価かつ短期間という省施工な更新方法が望まれる。

以上の背景から，筆者らは道路附属物である照明柱に着目し，新たな更新方法を提案するため，検討を行った。対象としたのは埋め込み式照明柱であり，図-1 のように鋼管の腐食は主に地際付近で生じている。そこで新たな更新方法として，図-2 の概念図の様に地際付近を切断して一回り細径の鋼管を挿入し，外鋼管と内鋼管の間をコンクリートで付着させるといった，いわゆる中空式のコンクリート充填二重鋼管構造を適用しようと試みた。現在，全国規模で照明柱灯具の LED 化が進められているため，既存の柱よりも小径の鋼管が適用可能となったことを利用するものである。ただし，基礎鋼管内において図の様に電気ケーブルが通っているため，局所的に二重鋼管構造として基礎との連結を試みるものである。本工法を適用することで，基礎の解体・新設が不要になり，所要日数が通常 1 週間のところ数時間で可能となる。よって，工事による不点灯期間も無くすることが可能となり，省工期・省コストの更新を行えることがメリットである。

既往の研究などではコンクリート充填二重鋼管の曲げ特性に関する文献²⁾⁴⁾がいくつか存在するが，根元の

みのように，局所的にこの構造を適用した研究はあまり見られない。ただし本工法の場合，鋼管間の隙間が狭いために，コンクリートではなく高流動モルタルを使用することにした。局所的に二重鋼管にするので，モルタルと鋼管との付着の低減による引き抜けの影響が懸念される。そのため，合成鋼管として機能するための必要埋め込み長の検討が必要となる。

そこで本研究では，根元にモルタル充填二重鋼管構造を適用した照明柱を模擬した供試体の静的載荷試験を行い，合成鋼管として機能する長さ（埋め込み長）をパラ



図-1 地際部の腐食の様子²⁾

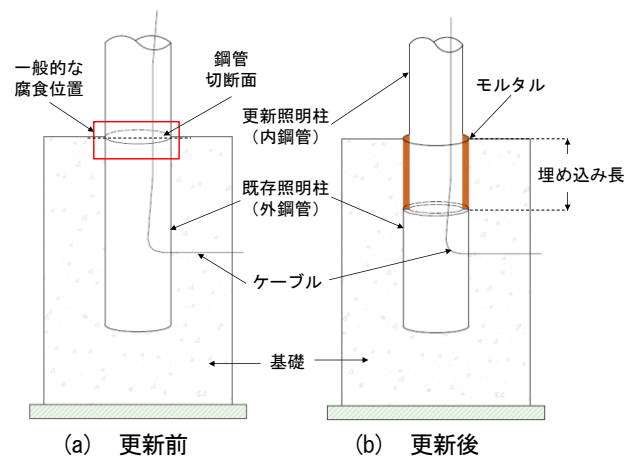


図-2 埋め込み式照明柱基礎の概念図

*1 大阪市立大学大学院 工学研究科都市系専攻 (学生会員)

*2 大阪市立大学大学院 工学研究科都市系専攻准教授 博(工) (正会員)

*3 國陽電興(株) 博(工)

*4 大阪市立大学 工学部都市学科

メータとして力学特性の検討を行った。ただし、基礎地盤、基礎コンクリートによる影響は考慮せず、安全側の考えとして検討を進めた。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本来は片持ち梁構造であるが、作用モーメントを合わせる形として単純梁として実施することとした。

供試体は長さ 1150mm の内鋼管 2 本をスパン中央で突合せ、外鋼管とモルタルで連結して全長 2300mm の部材を製作した。使用したモルタルは、実施工時に短期間で行えることを想定し、無収縮の超速硬モルタルを使用した。鋼管は内鋼管と外鋼管ともに STK-400 の既成鋼管を用いた。4.5m 程度の一般的な照明柱（水銀灯タイプと LED タイプ）の大きさに合わせた断面寸法（そのため、鋼管間の隙間が 9.25mm と小さくなる）とし、外鋼管の長さの半分を埋め込み長として扱い、変化させた。二重鋼管部分の長さを変化させた構造を 4 種類、内鋼管単体のものを 1 種類、計 5 種類を用意した。

表-1 供試体一覧

供試体名称	外鋼管			内鋼管			埋め込み長 L[mm]
	外径 D _o [mm]	鋼管厚 t _o [mm]	径厚比 D _o /t _o	外径 D _i [mm]	鋼管厚 t _i [mm]	径厚比 D _i /t _i	
L-0	-	-	-	114.3	3.5	33	0
L-15	139.8	3.5	40				150
L-20							200
L-25							250
L-30							300

表-2 鋼管の材料諸元

鋼管種	降伏強度 [N/mm ²]	弾性係数 [kN/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]
外鋼管	372	198	453	0.28
内鋼管	364	200	443	0.29

表-3 モルタルの材料諸元

圧縮強度 [N/mm ²]	弾性係数 [kN/mm ²]	曲げ強度 [N/mm ²]	膨張率* [%]
48.8	23.6	6.5	0.1

*製品規格値⁵⁾

供試体一覧を表-1 に、使用したモルタルと鋼管（STK-400）の材料特性を表-2、3 に示す。モルタルは超速硬材料を使用し、7 日間の気中養生とした。本モルタルでは、0.1%の体積膨張が発生することが特徴である。鋼管については、明確な降伏棚が表れなかったため、降伏点を 0.2%オフセット耐力として算出した。

2.2 実験方法

供試体は中央部分を二重鋼管構造とし、片持ち梁と同様の曲げモーメント分布になるよう図-3 に示すような 3 点曲げ試験とした。また、変位計の設置位置も示して

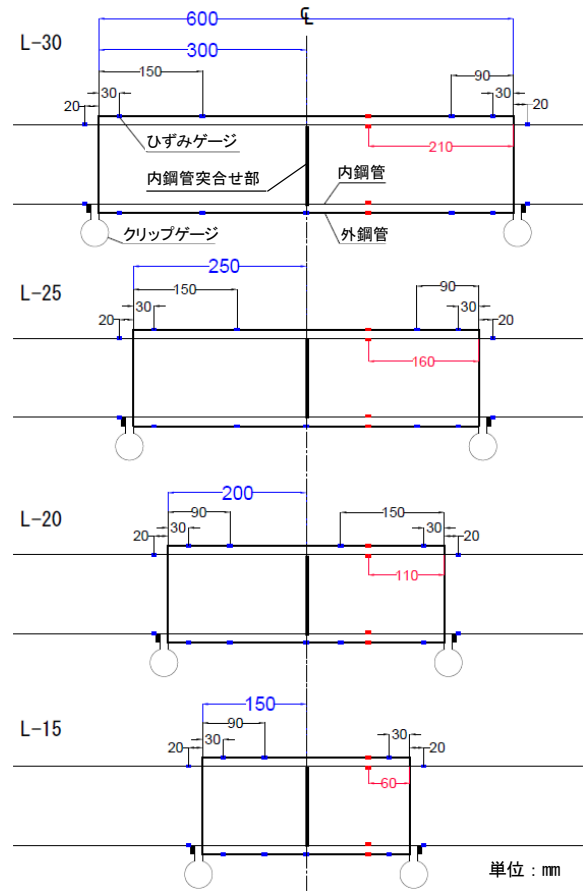


図-4 供試体寸法・計測位置

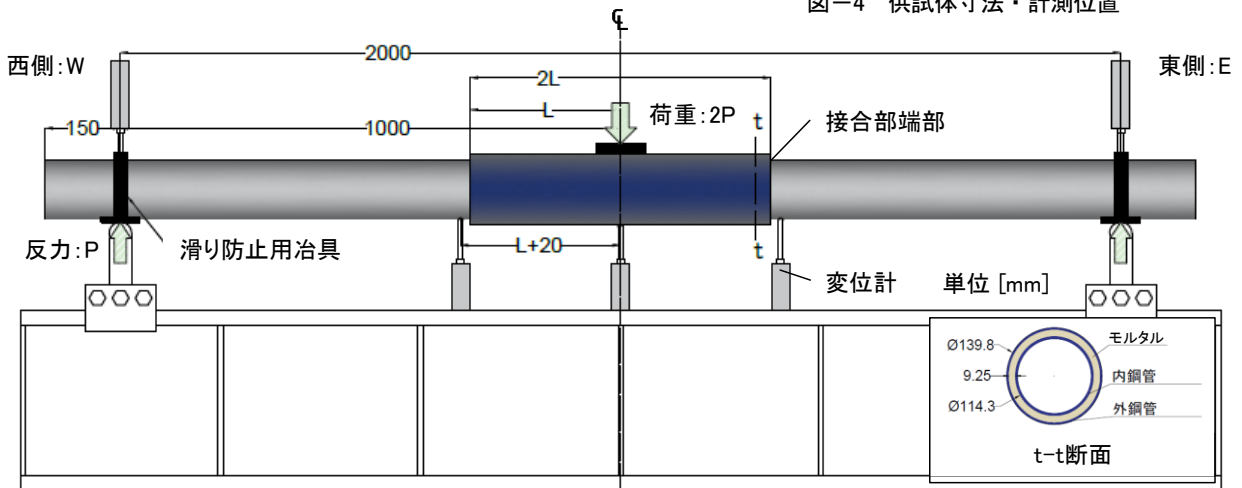


図-3 実験装置概観

いる。変位計は載荷点直下に1か所、支点と鋼管同士の接合部端部にそれぞれ1か所ずつの変位を計測した。さらに、図-4には各供試体の寸法や軸方向のひずみゲージの貼り付け位置を示す。青色の計測点は、全供試体において接合部端部から30、90、150mmとし、赤色の計測点は、供試体ごとで距離を変化させ両鋼管の同距離同断面でひずみを計測した。内鋼管が抜け出すことも考えられたため、鋼管の接合部端部にクリップゲージを設置し、ずれ変位量も計測した。

照明柱は暴風時でも降伏させないことから、降伏荷重までが使用範囲であるが、本構造の性能確認も含め終局まで一方向載荷で実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 補強による効果の確認

図-5は、局所的にモルタル充填二重鋼管構造にした場合の補強効果の確認として、無補強体であるL-0と最も根入れ深さの長いL-30の荷重変位関係を比較したグラフである。本来照明柱は固定端条件で柱に荷重を与えるということを考慮して、縦軸の荷重は支点反力の値としている（以降、同様）。また、対象とした構造の荷重変位関係の梁理論値（全断面有効かつ弾性）も示した。

図-5に示すとおりL-0に比べてL-30の方が、60%ほど最大荷重が大きくなり、曲げ剛性の向上も確認できた。300mmだけ二重鋼管構造にすることで、変形性能も向上することが確認でき、局所的に補強した場合でも比較的良好な補強効果が示された。

次に初期の曲げ剛性に注目すると、鋼管単体のL-0は弾性挙動域において、理論値に沿ったような剛性を確認できる。しかし、L-30は極初期以降、理論値よりもかなり剛性の低い結果となっていることが分かる。初期段階

から、接合部端部（図-3参照）においてモルタルと内鋼管の間で付着切れが生じていることは、実験観察時から確認することが出来ており、二重鋼管部分が完全に一体となって挙動していないと考えられる。

3.2 破壊形式

例として、L-25の破壊形式を図-6に示す。最終的な破壊形式は補強をした全供試体において、接合部端部付近での内鋼管の局部座屈であった。接合部端部において、充填モルタルの支圧破壊も生じる可能性があるかと懸念していたが、それは見られなかった。

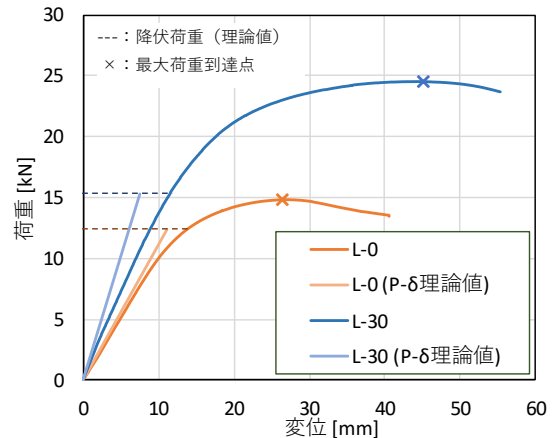


図-5 荷重-変位関係

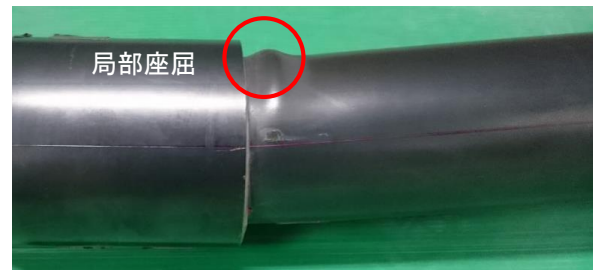


図-6 載荷試験後の変形状態(L-25)

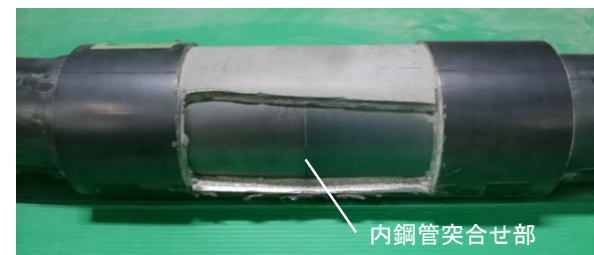


(a) L-20

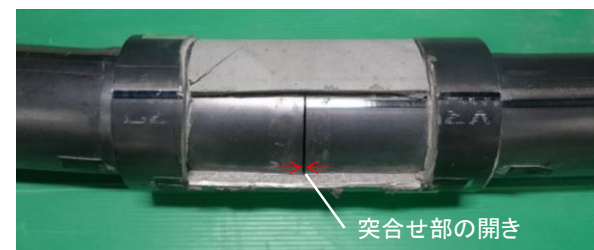


(b) L-15

図-7 載荷後のモルタルのひび割れ



(a) L-20



(b) L-15

図-8 モルタル解体後の内鋼管の様子

図-7には載荷後の充填モルタルの状況を、図-8にはモルタルを外した後の内鋼管の状況を示す。図-7に赤線で示しているのが、生じたひび割れである。図-7(a)に示すように、L-20は載荷点中心位置に曲げ引張によるひび割れが見られた。ひび割れが確認出来たのは内鋼管を突合せている部分の1か所のみであり、ひび割れの分散は見られなかった。L-20よりも埋め込み長が長いL-30、L-25に関してもL-20と同様のひび割れ性状であった。一方で、図-7(b)に示すように最も埋め込み長の短いL-15では、供試体軸方向もひび割れが確認された。同様に図-8(a)はL-20の、図-8(b)にはL-15の様子である。L-15では他では確認できないような内鋼管の引き抜け（開き）が確認された。

モルタルは拘束効果により圧縮域では多軸圧縮状態になるが、引張域では内鋼管がモルタルとともに引き抜けようとする力が働き、モルタルに引張力が伝達しひび割れが発生したのではないかと考えられる。ただし、L-15においては引き抜けようとする内鋼管の挙動が他と異なっていたと考えられる。

3.3 荷重変位関係

図-9に全供試体の荷重中央変位関係を示す。さらに、表-4には各供試体の降伏荷重 $P_{y(exp)}$ (接合部端部付近のひずみが降伏ひずみに達した時)と最大荷重 $P_{u(exp)}$ について示す。さらに、最大荷重の算定値 P_u と相対比 $P_{u(exp)}/P_u$ を示す。算定値は接合部端部の内鋼管の全塑性耐力を荷重値に換算した。図-9より二重鋼管にした距離、つまり埋め込み長が長いほど、最大荷重は当然ながら大きくなる傾向を示していることがわかる。L-20, 25, 30に関しては、初期剛性に大きな変化はなく変位が進展している。しかしながら、L-15は上記3体と比較しても、かなり低い初期剛性を示し、さらに無補強体L-0よりも低いという結果となった。そして、降伏荷重もL-20より大きな値を示し、変位の進展も最も早い結果となった。

次に、図-10に荷重と回転角の関係を示す。ここで示す回転角は、埋め込み長に対する中央変位と接合部端部の変位の差分から求めた。全長完全合成挙動で曲げ変形が主であれば、二重鋼管にした部分の距離が短くなるにつれて回転角は小さくなると思われるが、逆の結果とな

表-4 各供試体の降伏荷重・最大荷重

供試体名	実験値		算定値	—
	$P_{y(exp)}$ [kN]	$P_{u(exp)}$ [kN]		
L-0	12.4	14.7	15.6	0.94
L-15	13.8	20.0	18.4	1.09
L-20	13.1	21.2	19.6	1.08
L-25	14.6	22.8	20.9	1.09
L-30	15.2	24.5	22.4	1.10

った。つまり、合成して挙動していない比率は埋め込み長が短い程大きいと考えられる。特にL-15では特異な回転角の進展を示している。後の3.5節でも述べるが、本構造においては埋め込み長150mm程度以上を境として、内鋼管と外鋼管に作用する応力伝達の方法に異なりがあると考えられる。

3.4 内鋼管のずれ変位

合成鋼管から内鋼管が引き抜けるような挙動を起こした変位をずれ変位量として、外鋼管と内鋼管との相対変位を計測した。その結果を図-11に示す。L-30Wに關

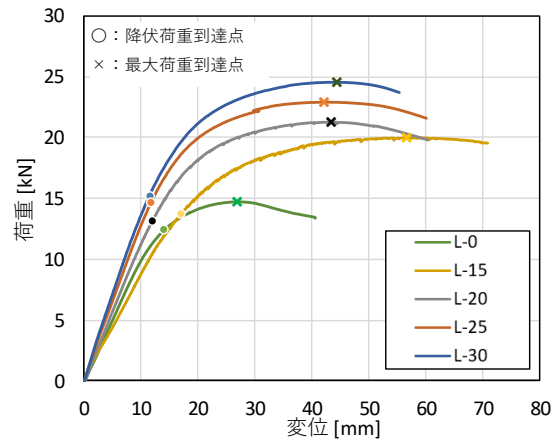


図-9 荷重中央変位関係

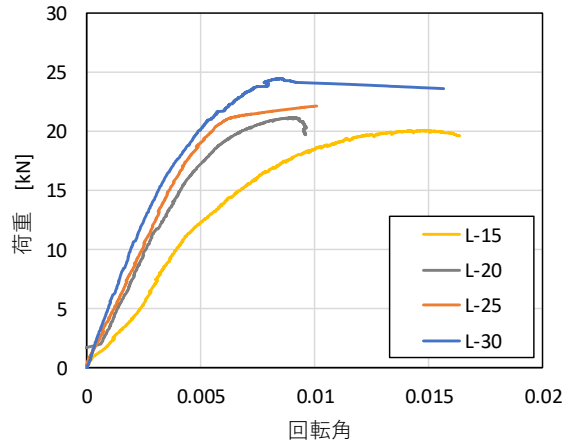


図-10 荷重-回転角

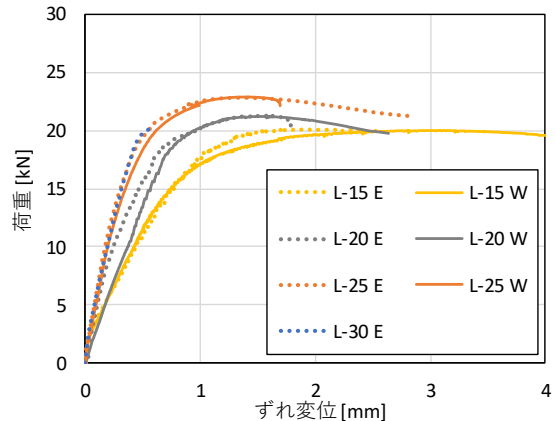


図-11 内鋼管とモルタルとのずれ変位量

しては測定不良のため省略した。クリップゲージで計測した変位は、内鋼管接合部際で計測したひずみ量を用い、計測範囲の鋼管の伸び量を引いて補正を行った。ずれ変位量の進展の挙動としては、降伏荷重までは0.6mm以下ではほぼ線形な挙動を示しており、それ以降は変位増加率が大きくなっているが、3.2節で確認したL-15の引き抜け現象を示すようにL-15のずれ量が最も大きい。

3.5 軸方向ひずみ

軸方向ひずみの分布特性を検討するため図-12に接合部端部のモーメントが一定時の各供試体の外鋼管引張側のひずみ分布例を示す。なお、理論上各接合部端部からの同一距離における作用モーメントは最大3%程度しか変わらない。軸方向ひずみの分布特性においては、内鋼管端部となる載荷点中央付近(L-15なら距離150mm付近)を除いて類似した分布特性になっており、合成作用は埋め込み長の差異よりも接合部端部からの距離に依存することがわかる。

そこで、二重鋼管部の挙動特性を検討するため、同一断面の内鋼管と外鋼管の軸方向ひずみの分布を図-13に示す。図に示したひずみは図-4の赤色のひずみゲージ位置であり、L-30からは距離210mm位置のひずみであり、L-25, 20, 15では、それぞれ距離160, 110, 60mm位置でのひずみ分布である。なお、内鋼管におけるひず

みゲージは鋼管の内側に貼り付けた。これは鋼管間にゲージを貼ることで、モルタルと鋼管との付着に影響が出ないように考慮したためである。

図-13(a)は、荷重増加に伴う内鋼管と外鋼管のひずみ分担について示してある。縦軸に外鋼管のひずみを、横軸に内鋼管のひずみを取り、測定位置において曲げモーメントが2kNm増加ごとの軸方向ひずみの測定値をプロットしている。Y=0.82Xからなる直線は、平面保持の仮定が成り立つとした場合において、内鋼管ひずみは外鋼管ひずみの約0.82倍であるため、参考として示した。

まず、図-13(a)に示した210mm位置におけるひずみ分布に関して、圧縮側・引張側ともに外鋼管ひずみのほうが大きな値を示しており、内鋼管のひずみ分担は小さ

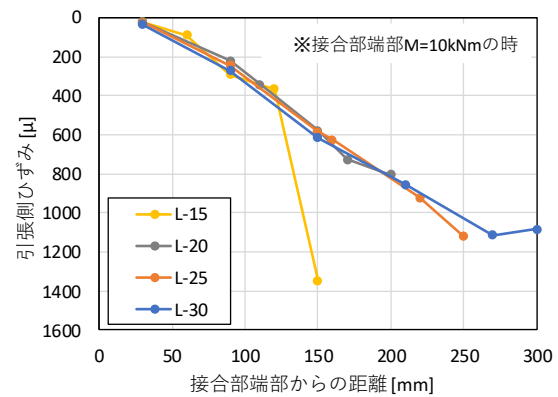
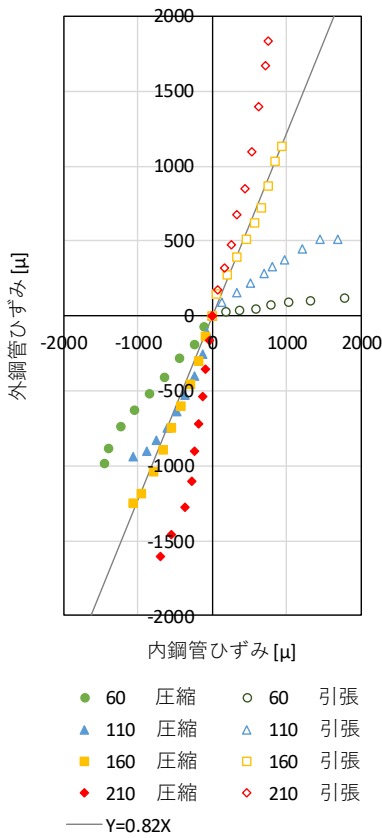
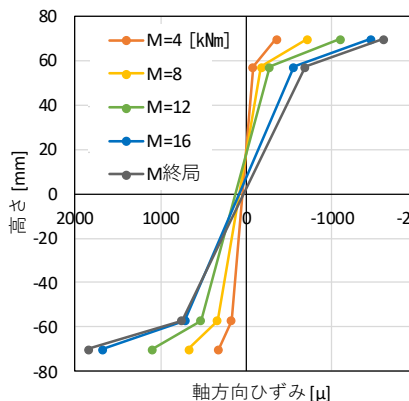


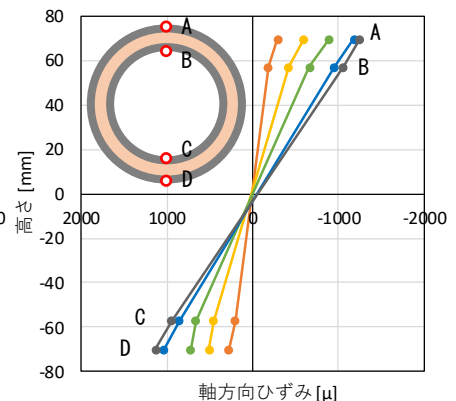
図-12 外鋼管の軸方向ひずみ



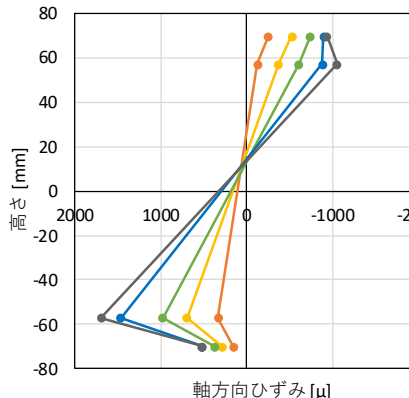
(a) 荷重増加に伴う内鋼管と外鋼管のひずみ分担



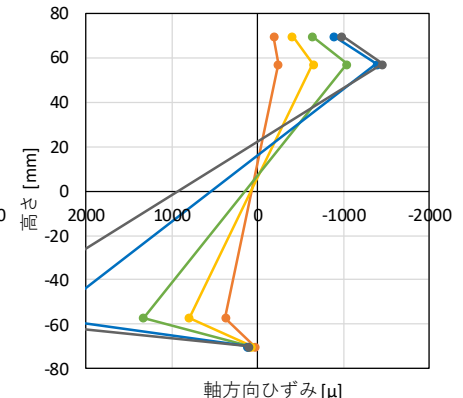
(b) 距離 210mm (L-30)



(c) 距離 160mm (L-25)



(d) 距離 110mm (L-20)



(e) 距離 60mm (L-15)

図-13 計測位置ごとのひずみ分布

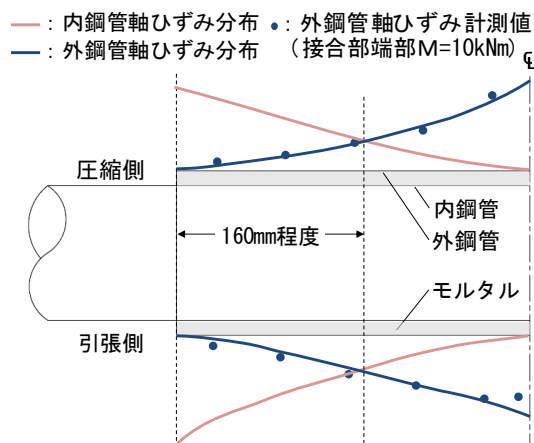


図-14 軸方向ひずみ分布イメージ

いことが分かる。160mm, 110mm, 60mm と、接合部端部からの距離が短くなるにつれて、引張側に関しては内鋼管のひずみ分担が支配的になってくるのが分かる。一方圧縮側は、引張側ほど内鋼管にひずみが分担しているわけではないが、内鋼管へのひずみ分担が見られる。

次に、図-13(b)～(d)では各位置における曲げモーメントが4kNm増加ごとのひずみ分布を示した。縦軸に合成鋼管の中心からの高さを、横軸に計測した軸方向ひずみを示している。図-13(c)では、160mmを示しており、ひずみ分布がほぼ一直線となっていて、合成鋼管として一体性が確保されていると考えられる。しかしながら、図-13(b)のように、長くなればなるほど鋼管とモルタルが一体挙動しているわけでもなく、主に外鋼管で曲げに抵抗していると考えられる。一方で、図-13(d)(e)のように埋め込み長が150mm未満の位置においては、特に引張側において内鋼管ひずみに比べ外鋼管ひずみが全く生じていないことから、モルタルと内鋼管との付着は剥がれ、外鋼管は曲げに対する抵抗が小さく、合成鋼管としての効果は極めて小さいことが明らかとなった。当然の事ながら載荷点部である中央では、内鋼管がつながっていないため、外鋼管が主に曲げに抵抗し二重鋼管範囲で内鋼管から外鋼管への分担の移行がなされる。L-15においてもなされているはずであるが、引き抜けなど一体挙動の確保が十分でない。以上の考察より、図-14に外鋼管のひずみ計測値を踏まえた、内外鋼管の圧縮縁・引張縁における軸方向ひずみの分布のイメージ図を示す。ただし、埋め込み長200mm以上を想定した場合である。埋め込み長160mm程度の位置を境に、内鋼管で応力分担していたものが入れ替わり、外鋼管で支持するようになったと想定される。

以上の結果より、モルタルと鋼管との一体性を確保するために、埋め込み長は160mm(内鋼管径の1.4D)以上必要であり、基礎との連結を踏まえて定着長(外鋼管への分担移行)も考慮すると本供試体寸法においては200mm以上が望まれると考えられる。

4. まとめ

既存照明柱の新たな更新方法の適用性を検討するため、基礎との連結部をモルタル充填二重鋼管構造とした3点曲げ試験を実施した。以下に得られた結果を記す。

- 1) 全長に比べて短い範囲のみを合成部材とすることで、鋼管単体よりも大きい耐力、曲げ剛性が得られた。ただし、埋め込み長150mmの場合は、曲げ剛性への効果は確認できなかった。
- 2) 各供試体の破壊形式は内鋼管の局部座屈によって引き起こされた。また、接合部端部のモルタルは破壊せず、またモルタルへのひび割れ分散も生じず、載荷点直下に曲げひび割れが発生するのみであった。ただし、埋め込み長150mmの場合は、軸方向にひび割れが発生する結果となった。
- 3) 引き抜けによるずれは生じていたが、使用レベルである降伏荷重まではどの供試体も0.6mm以下のずれしか生じなかった。
- 4) 圧縮縁および引張縁での軸方向ひずみを確認したところ、埋め込み長160mmより短い範囲においては、引張側でモルタルと内鋼管との付着切れの影響で外鋼管への応力の伝達はあまり生じないことが明らかとなり、合成部材としての機能を十分に発揮できないと考えられる。
- 5) 以上を踏まえると、本供試体寸法においては、埋め込み長200mm以上は必要であると考えられる。

使用時および終局時に関しても、一定以上の埋め込み長が確保できた場合、本工法は適応可能であると考えられる。しかし、実挙動を考慮した検討や、付着性能をさらに明らかにする必要がある、また再劣化防止のための処置方法も考えていく必要がある。

謝辞:本研究では、太平洋マテリアル(株)様にモルタルの提供をして頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大阪府都市基盤施設維持管理技術審議会:平成28年度第3回道路・橋梁等部会, 資料4, 2016
- 2) 国土交通省, 道路局国道・防災課:附属物(標識, 照明施設等)点検要領, pp11-31, 2015
- 3) 上中宏二郎, 鬼頭宏明, 後藤亮太:中空式二重鋼管・コンクリート剛性部材の曲げ特性, コンクリート工学論文集, Vol.17, No.3, Issue42, 2006
- 4) 林堂靖史, 杉浦邦征, 河野広隆, 大島義信, 出向井雄一:コンクリート充填中空式二重鋼管柱の曲げ特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol.54A, 2008
- 5) 太平洋マテリアル(株):太平洋プレユーロックスーパー製品カタログ