

# 論文 芯材とモルタルによる同径鋼管の連結構造に関する実験的研究

塩津 良将\*1・角掛 久雄\*2・川満 逸雄\*3

**要旨:** 標識柱や照明柱などの道路付属物において、腐食劣化や衝突により損傷が生じている。そこで、埋め込み式基礎の道路付属物の更新手法として、芯材とモルタルを用いた同径鋼管の接続方法に着目した。本構造では一部がモルタル二重鋼管構造になっているが、同径の鋼管突合せ部では構造上弱点となることが考えられる。そこで本研究では照明柱サイズを対象に、芯材と連結する鋼管の曲げ剛性比および芯材長をパラメータにした4点曲げ試験を実施した。その結果、本構造により一定以上の芯材曲げ剛性かつ芯材長であれば、鋼管単体と同等以上の剛性があることがわかった。また、本構造の適用範囲について言及した。

**キーワード:** モルタル充填二重鋼管, 連結, 埋め込み式基礎, 腐食劣化, 曲げ特性

## 1. はじめに

標識柱や照明柱などの道路付属物において、図-1<sup>1)</sup>のように腐食劣化や自動車等の衝突などにより柱基部に損傷が生じることが多い。腐食や損傷の程度が大きく、補修で補えない場合には更新する必要がある。標識柱や照明柱が正しく機能しないと、交通や生活に支障をきたす。しかし、埋め込み式基礎の照明柱や標識柱を更新する場合には、既設柱のみならずコンクリート基礎も含めて更新しなければならないのが現状である。そのため、供用までに工期とコストがかかり、より簡易的な更新手法が求められている。以上の背景から、著者らは既存のコンクリート基礎を活用した同径柱での更新方法の検討を行った<sup>2)</sup>。本工法は既設柱を損傷位置付近で切断し、既設柱と同径の新設柱を突き合わせて連結する方法で、新設柱よりも径の小さい芯材を挿入し、芯材と柱の間にモルタルを充填する構造で、一部をモルタル充填二重鋼管構造としている。

図-2に本構造の概念図を示す。本工法を適用することで、コンクリート基礎の解体や新設が不要となり、工期やコストを抑えることが可能である。ただし、本構造では同径の外鋼管突合せ部において構造上弱点となることが考えられる。そこで本構造形式での補強効果を検討するため、文献2)では芯材の曲げ剛性をパラメータに、外鋼管を単柱式標識柱サイズにした供試体で曲げ試験を行った。その結果、芯材の曲げ剛性によって外鋼管突合せ部の応力負担機構が異なり、外鋼管と芯材の曲げ剛性( $E_o I_o, E_i I_i$ )の比率( $EI$ 比率)が最低0.5程度であると、外鋼管単体と同等の剛性を示し、補強効果があることを明らかにした。しかし、標識柱の径では芯材の径を変化させた場合を考慮した検討が困難であった。本構造の他用途への適用を踏まえると、寸法による影響を明らかにする

必要がある。

そこで本研究では外鋼管を照明柱サイズにした供試体の載荷試験を行った。文献2)をもとに、芯材の曲げ剛性に着目しつつ径を変化させ、さらに、芯材の長さ(以下、芯材長)もパラメータにして、本構造の力学特性の検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体概要



図-1 地際部の腐食事例<sup>1)</sup>

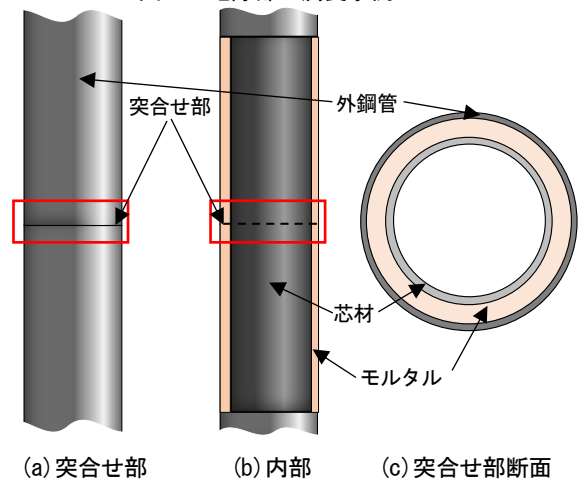


図-2 同径鋼管の接続構造の概念

\*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)

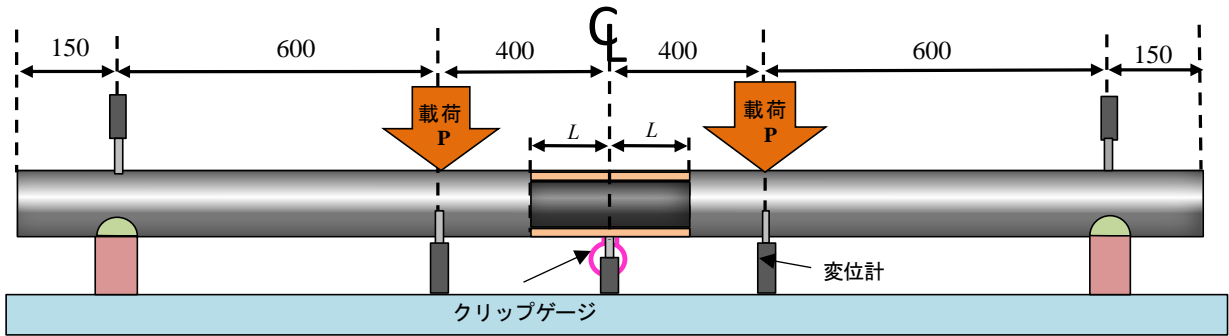


図-3 供試体概略図 (単位:mm)

表-1 供試体一覧

供試体名称	芯材				外鋼管			EI比率 ( $E_i I_i / E_o I_o$ )
	芯材長L [mm]	径 $D_i$ [mm]	板厚 $t_i$ [mm]	$E_i I_i$ [kNmm <sup>2</sup> ]	径 $D_o$ [mm]	板厚 $t_o$ [mm]	$E_o I_o$ [kNmm <sup>2</sup> ]	
101.6(3.2)_2D	280	101.6	3.2	2.4E+08	139.8	3.5	7.0E+08	0.34
101.6(5.7)_2D	280		5.7	4.0E+08				0.57
114.3(3.5)_1.7D	240	114.3	3.5	3.7E+08				0.54
114.3(3.5)_2D	280		3.5	3.7E+08				0.67
114.3(4.5)_1.25D	175	114.3	4.5	4.7E+08				
114.3(4.5)_1.5D	210							
114.3(4.5)_1.7D	240							
114.3(4.5)_2D	280							
外鋼管								×

表-2 モルタル材料諸元

圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	弾性係数 [kN/mm <sup>2</sup> ]	ポアソン比 [-]	曲げ強度 [N/mm <sup>2</sup> ]
52.8	25.9	0.24	9.2

表-3 鋼管材料諸元

鋼管径 [mm]	板厚 [mm]	降伏点 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	弾性係数 [kN/mm <sup>2</sup> ]	ポアソン比 [-]
101.6	3.2	323	420	184	0.27
101.6	5.7	331	448	184	0.28
114.3	3.5	334	440	188	0.28
114.3	4.5	331	436	177	0.30
139.8	3.5	331	443	184	0.28

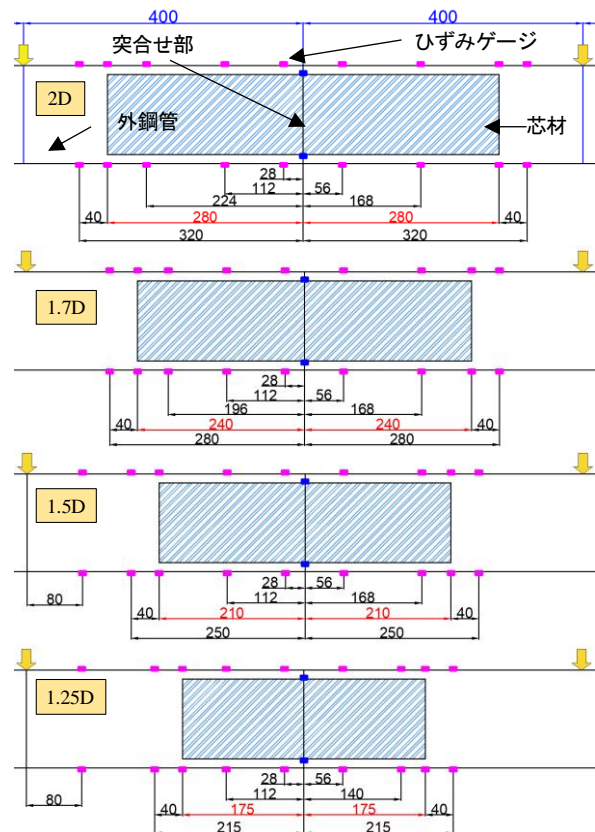


図-4 供試体寸法・計測位置

供試体概略図を図-3に示す。供試体は長さ1150mmの外鋼管をスパン中央で突合せ、芯材とモルタルで連結させることで、全長2300mmとした。モルタルは狭隙部に短時間で施工することを考慮して、高流動である無収縮の超速硬モルタルを使用した。外鋼管、芯材ともにSTK-400の既成鋼管を使用した。断面寸法は4.5m程度の一般的な照明柱の大きさに合わせた。供試体は支持台を用いて外鋼管を立たせ、外鋼管どうしを突合せた後に上側から鋼管内部へモルタルを流し込み、作成した。芯材長は突合せ部から芯材端部までの距離(図中のL)とする。表-1に供試体一覧を示す。芯材の剛性を変えたものを4体、芯材長を変えたものを4体用意した。さらに、外鋼管単体を1体用意し、計9体の供試体で検討を行った。表-2に使用したモルタルの材料特性を示す。配合はプレミックスのセメントを用いるため、標準配合を基にモルタルを作成し、11日間の気中養生をした。モルタルは0.1%の

膨張率を保持し続けることが特徴である<sup>3)</sup>。また、曲げ強度は3点曲げ試験により求めた。表-3に鋼管の材料特性を示す。試験体は各寸法の鋼管から5号試験片に加工し、引張試験を行った。降伏点は永久ひずみ0.2%オフセ

ット耐力で求めた。弾性係数とポアソン比は、応力が降伏強度の 1/3 倍までの初期範囲における平均ひずみより算出した。

## 2.2 実験方法

図-3 に示すように、供試体は中心部が連結構造となっており、実構造において突合せ部が最も曲げモーメントが作用する構造でないことや基本的な曲げ特性を把握するため、連結部よりも広い範囲が純曲げになるように 4 点曲げ試験を行った。また変位計の設置位置も併せて示す。変位計は供試体中央（中央変位）、左右の載荷点直下（載荷変位）に設置した。図-4 に各供試体寸法および軸方向のひずみゲージの貼り付け位置を示す。ひずみゲージは、芯材長ごとに位置を決定した。赤色の計測点は外鋼管で、中央から左右非対称に張り付けた。青色の計測点は芯材で、中央の圧縮縁と引張縁に 1 か所ずつ貼り付け、軸方向のひずみを計測した。突合せ部では外鋼管の抜けやモルタルのひび割れの影響が考えられたため、引張縁にクリップゲージを設置し、ずれ変位量を計測した。

試験は一方方向漸増載荷により終局までを行い、照明柱の暴風時設計レベルでの評価および終局までの本構造の性能検討を行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 荷重変位関係

図-5 に全供試体の荷重中央変位関係を示す。併せて、

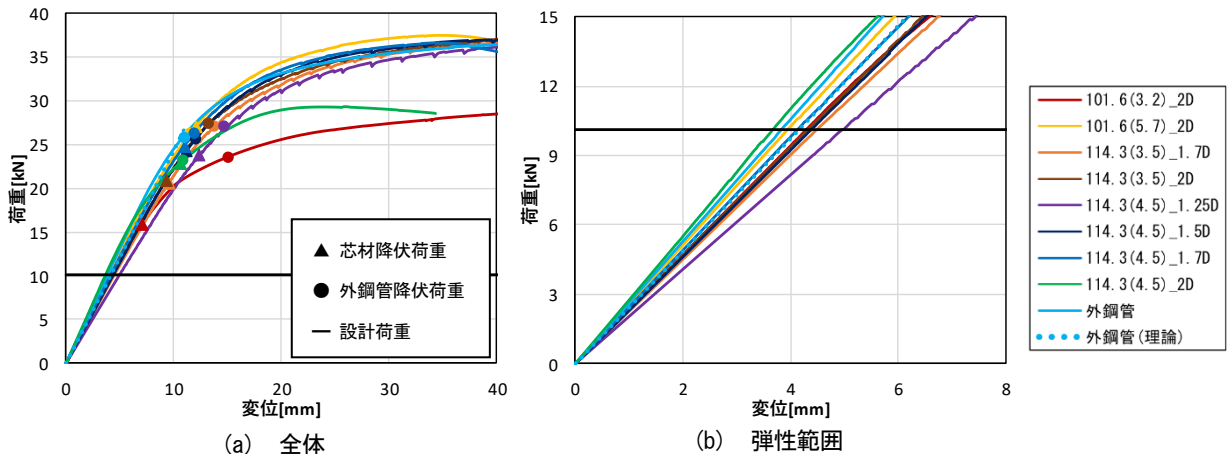


図-5 荷重-中央変位関係

表-4 降伏荷重比較

供試体	実験値 $P_y$ [kN]		算定値 $P_y$ [kN]		実験値/算定値	
	芯材	外鋼管	芯材	外鋼管	芯材	外鋼管
101.6(3.2)_2D	15.9	23.6	18.7	27.5	0.85	0.86
101.6(5.7)_2D	27.2	26.3	29.4		0.92	0.96
114.3(3.5)_1.7D	20.7	27.0	24.0		0.86	0.99
114.3(3.5)_2D	21.0	27.4	27.6		0.88	1.00
114.3(4.5)_1.25D	23.9	27.0			0.87	0.98
114.3(4.5)_1.5D	24.4	25.7			0.88	0.94
114.3(4.5)_1.7D	24.8	26.4			0.90	0.96
114.3(4.5)_2D	23.0	23.3			0.83	0.85

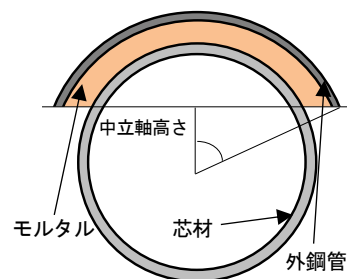


図-6 突合せ部の有効断面の考え方

外鋼管単体の理論値と照明柱としての設計荷重作用時の曲げモーメント相当となる荷重も示す。表-4 には各供試体の芯材と外鋼管単体部の降伏荷重(引張縁のひずみが降伏ひずみに達した時)の実験値を示す。降伏ひずみは設計を踏まえ二軸応力状態を考慮せず、安全側の評価としている。さらに、算定値との比較も示す。芯材降伏時の算定は、図-6 のように外鋼管とモルタルは上縁から中立軸高さまで、芯材は全断面有効とした完全合成部材として考えた。いずれも弾性範囲を対象とし、鋼管とモルタルの応力分布は簡易的にフックの法則を仮定している。

図-5 (a) に全体の荷重変位関係を示す。先行して実施した 101.6(3.2)\_2D と 114.3(4.5)\_2D は接触部の載荷板形状が外鋼管径よりも大きく、局部的に荷重が作用することで載荷位置での外鋼管の支圧破壊が見られ、最大荷重が低くなった。その他の供試体は、載荷板形状を外鋼管径としたことで外鋼管の局部座屈により終局したため、最大荷重は同程度となった。図-5 (b) に弾性範囲を示す。全体では芯材の剛性が高く、芯材長が長いほど本構造の剛性が高いことがわかる。外鋼管単体は実験値よりも理論値の方が剛性は低くなった。外鋼管単体理論値と比較すると、 $EI$  比率が 0.57 以上かつ芯材長が外鋼管径  $D$  の 1.7 倍以上ある 3 体が外鋼管単体理論値と同程度以上の剛性があることが確認できる。

表-4 より、算定上、101.6(5.7)\_2D と 114.3(4.5)は芯材が外鋼管よりも後に降伏するため、補強効果があり本構

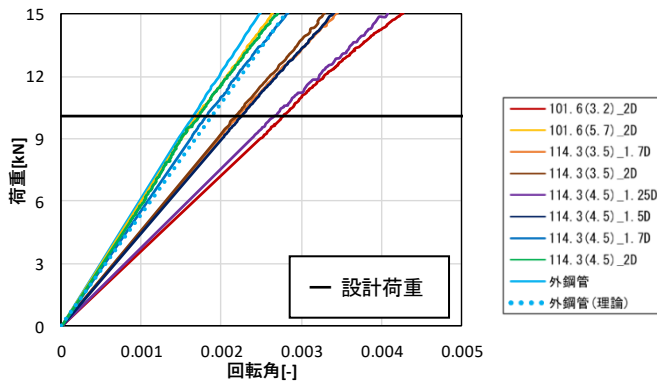


図-7 荷重-回転角関係

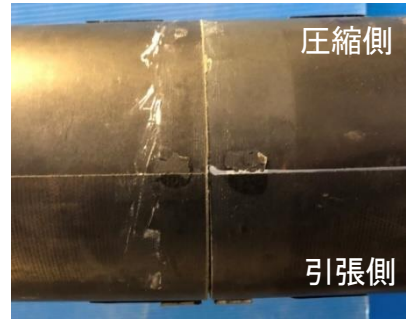


図-9 突合せ部の載荷後の例 114.3(3.5)\_2D

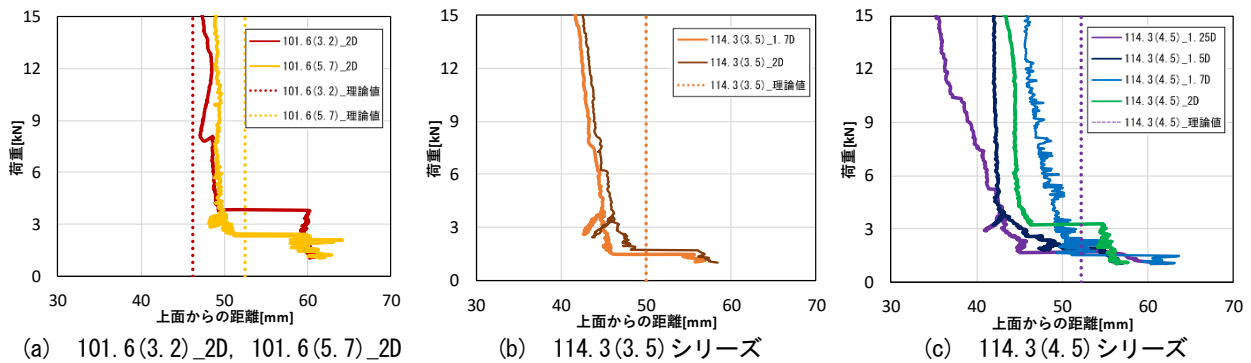


図-8 中立軸位置

造として好ましい。しかし、実験値は算定値よりやや低くなり、114.3(4.5)は外鋼管が先に降伏する結果となった。これは突合せ部の噛み合わせや付着部のずれなどにより完全合成よりもやや剛性が低くなったことが要因と考えられる。

図-7に荷重と回転角の関係を示す。ここで示す回転角は、純曲げ区間における中央変位と載荷変位の差分から求めた。荷重中央変位関係と同様に、外鋼管単体は実験値よりも理論値の方が剛性は低くなったが、 $EI$  比率が0.57以上かつ芯材長が外鋼管径の1.7倍以上ある3体が外鋼管単体(理論値)と同程度以上の剛性があることが確認できる。一方、101.6(3.2)\_2Dや114.3(4.5)\_1.25Dは特に回転角の進展が大きいことから、突合せ部の剛性が低く、芯材長が短いと回転しやすいことがわかる。

### 3.2 中立軸

図-8に突合せ部で計測した芯材の軸方向ひずみから求めた弾性範囲内の中立軸位置を示す。さらに図-6の突合せ部の有効断面より、理論上での中立軸位置を求め、実験値と比較した。図-8から、全ての供試体で低い荷重レベルでの急激に中立軸が上面側に移動した後、安定してほぼ同じ高さを保ち続けていることがわかる。図-8(a)より、特にモルタル厚が大きい101.6(5.7)\_2Dは、ほとんど中立軸位置が変わらないことがわかる。101.6(3.2)\_2Dでは少し不安定なことから、芯材の剛性が中立軸位置の安定性に影響していたことが考えられる。また、101.6(5.7)\_2Dと図-8(b)の114.3(3.5)シリーズの $EI$ 比率

はほとんど同等であるが、101.6(5.7)\_2Dのほうが、中立軸位置が下面側に位置し、荷重増加後もほぼ一定の挙動を示していることより、モルタル厚の違いによる拘束効果の影響が考えられる。

次に図-8(c)の114.3(4.5)シリーズでは、2Dを除くと、芯材長が短いほど中立軸位置が上面側へ移動し、理論値から離れる結果となった。芯材が同じ剛性であっても、中立軸位置が変わることから、芯材長の違いによる外鋼管のずれや変形の影響があると考えられる。

### 3.3 外鋼管のずれ変位、載荷後のひび割れ

図-9に突合せ部の載荷後の状態を示す。図-9のように、突合せ部において、引張縁より外鋼管がずれることにより、充填モルタルが目視で確認できた。図-10に供試体中央の引張縁で計測した外鋼管のずれ変位量の結果を示す。

図-10(b)では、全ての供試体で2~6kNにずれ変位が顕著に進展している。図-8の中立軸位置の移動と同じ荷重であり、この時点でモルタルにひび割れが生じた可能性がある。設計荷重時に着目すると、101.6(5.7)\_2Dが最もずれ変位量が抑えられた。さらに芯材が同じ剛性の場合、114.3(3.5)、114.3(4.5)ともに芯材長が長い方が、ずれ変位量が抑えられる結果となった。114.3(3.5)と114.3(4.5)を比較すると、114.3(3.5)\_1.7Dと114.3(4.5)\_1.5Dが同程度であることがわかる。つまり外鋼管の抜け出しは芯材長の長さのみならず、芯材の剛性も寄与していると考えられる。



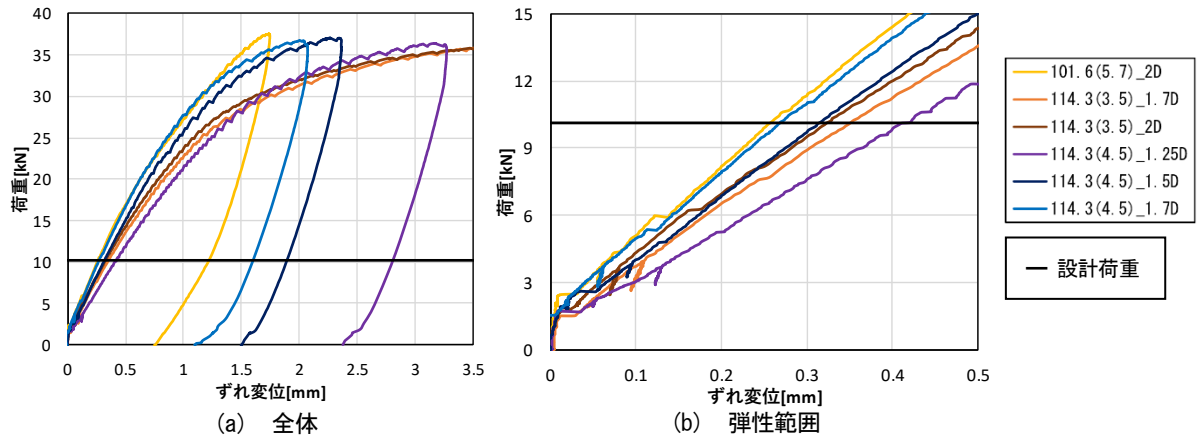


図-10 外鋼管とモルタルのずれ変位量

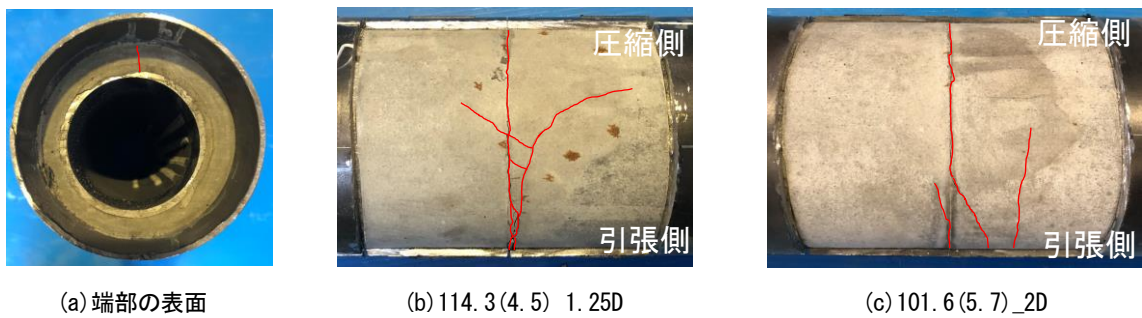


図-11 載荷後のモルタルの様子

表-5 載荷後のひび割れ幅計測結果

供試体	総ひび割れ幅 [mm]	本数 [本]	平均ひび割れ幅 [mm/本]
101.6(3.2)_2D	4.50	4	1.13
101.6(5.7)_2D	0.30	3	0.10
114.3(3.5)_1.7D	3.05	3	1.02
114.3(3.5)_2D	3.40	6	0.57
114.3(4.5)_1.25D	1.45	2	0.73
114.3(4.5)_1.5D	1.05	3	0.35
114.3(4.5)_1.7D	0.55	2	0.28
114.3(4.5)_2D	0.20	2	0.10

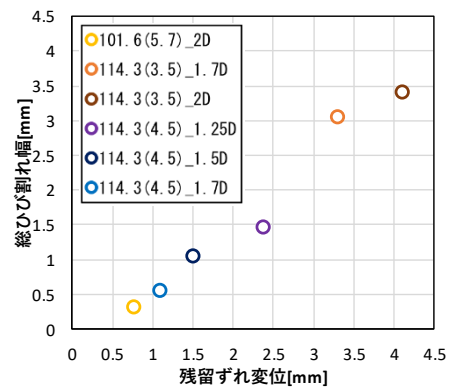


図-12 ずれ変位量と総ひび割れ幅の関係

次に図-11に載荷後のひび割れの様子を、表-5にクラックゲージで計測したひび割れ幅の一覧を示す。図-11(a)のように、充填部の端部の表面上に圧縮側へひび割れが確認できた。この状態は芯材の剛性や芯材長に関係なく全ての供試体で左右どちらにも見られた。図-11(b)や表-5より、芯材長が短いものほど、ひび割れ幅が大きくなる結果となった。

図-12に載荷後に残留したずれ変位量と総ひび割れ幅の関係を示す。図-12より、ずれ変位量と総ひび割れ幅には相関性があることがわかる。101.6(5.7)\_2Dや114.3(4.5)\_1.7Dは総ひび割れ幅、ずれ変位量ともに抑えられた。114.3(4.5)\_1.25Dは、ずれ変位量がやや大きくなっていることから、外鋼管の抜け出しの影響が大きかったと考えられる。

### 3.4 外鋼管の応力伝達

図-13に外鋼管の応力伝達傾向を検討するため、114.3(4.5)シリーズの純曲げ区間における6kNm時(設計荷重作用時)と12kNm時(降伏荷重作用時)の供試体中心からの距離ごとでの外鋼管の軸方向ひずみの分布を示す。ひずみ分布は図-4に示した外鋼管のひずみゲージの計測値を用いている。なお、芯材が配置されていない箇所は白抜きマークで示した。理論値は外鋼管単体と完全合成部材を記している。ここでの完全合成理論値は、全断面有効とした完全合成部材として算出した。さらに、初期勾配の線形延長も示した。

まず全体を見ると、突合せ部付近では軸方向は外鋼管の曲げ応力負担が小さく、モルタルや芯材で受け持っていると考えられる。112mmまでは芯材長によらず、ほぼ

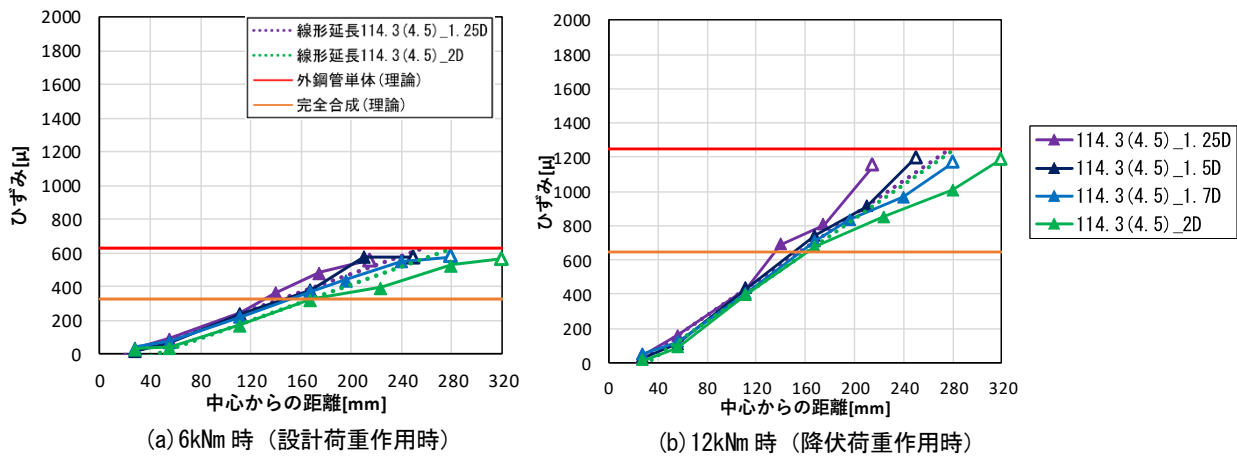


図-13 外鋼管の軸ひずみ分布

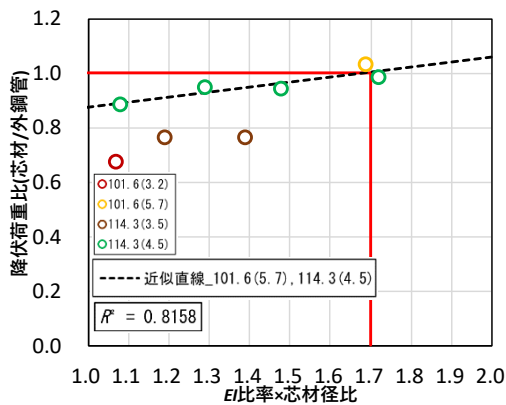


図-14 降伏荷重比と  $EI$  比率  $\times$  芯材径比

同様な分布となった。さらに距離が大きくなると、いずれの供試体も 168mm 位置までに完全合成理論値と等しくなり、端部へ向かうにつれて外鋼管単体理論値に近づく結果となった。しかし、1.25D は 112mm からやや急激に勾配が上昇し、140mm で完全合成理論値と一致した。以降、外鋼管単体に近づく結果となった。

次に線形的な応力伝達が行なわれている芯材長を検討した。弾性体挙動において理論上は線形的となるため、円滑な応力伝達が行なわれると考えられる。図-13 より、線形延長が外鋼管単体理論値と一致する点は 260mm～280mm の範囲になることがわかる。以上より、114.3(4.5) シリーズでは芯材長が外鋼管径の 2 倍程度が好ましいと考えられる。

### 3.5 降伏荷重比と $EI$ 比率 $\times$ 芯材径比の関係

図-14 に芯材と外鋼管の実験時の降伏荷重比と芯材・外鋼管の  $EI$  比率  $\times$  芯材径に対する芯材長の比(芯材径比)の関係を示す。また、近似曲線は算定上、芯材が外鋼管よりも後に降伏する供試体のものである。

図-14 から、今回の剛性範囲内では、 $EI$  比率  $\times$  芯材径比が大きいくほど降伏荷重比が大きくなる傾向が確認でき、降伏荷重比が 1.0 以上になるには、 $EI$  比率  $\times$  芯材径比が 1.7 以上であることが確認できる。つまり、芯材と外鋼管の剛性のみならず、芯材長も降伏値に影響していること

がわかる。以上より、算定上、芯材が外鋼管よりも後に降伏する 101.6(5.7)、114.3(4.5)の応力伝達機構やひび割れ、ずれ変位が抑えられていたこと、外鋼管単体と同等以上の剛性が得られたことから、安定した構造として機能するには  $EI$  比率  $\times$  芯材径比が 1.7 以上必要と考えられる。

## 4. まとめ

本研究では芯材剛性および芯材長をパラメータとし、照明柱サイズでの同径鋼管の連結構造による補強効果を 4 点曲げ試験により検討した。本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) 照明柱の設計レベルで見ると、芯材剛性比が 0.57 以上かつ芯材長が外鋼管径の 1.7 倍以上の場合、鋼管単体と同程度以上の曲げ剛性が得られた。
- 2) 芯材曲げ剛性が高かつ芯材長が長いほどモルタルの損傷や外鋼管のずれ変位量は抑えられた。
- 3) 既存柱と同等以上の降伏耐力を発揮するには本供試体寸法においては、 $EI$  比率  $\times$  芯材径比が 1.7 以上必要と考えられる。

今後は、さらにモルタル厚による応力伝達機構の違いを明らかにする必要がある。

謝辞：学部 4 回生の吉村将登さん林周子さんには実験時に多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土交通省、道路局国道・技術課：附属物（標識、照明施設等）点検要領，2019
- 2) 塩津良将，川満逸雄，角掛久雄：芯材とモルタルによる同径鋼管の連結構造に関する基礎的研究，第 74 回年次学術講演会 講演会概要集，cs-6-13，2019
- 3) 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，2017