

令和 3 年 4 月 15 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04327

研究課題名（和文）埋め込み式基礎を有する照明柱更新へのモルタル充填2重鋼管基礎の適用

研究課題名（英文）Application of mortar filled double steel tubular members for updating lighting poles of embedded foundation

研究代表者

角掛 久雄（HISAO, TSUNOKAKE）

大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90326249

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：近年、照明柱基部の腐食劣化が問題となっている。そこで、本研究では埋め込み式照明柱の新たな更新方法として中空式のモルタル充填2重鋼管に着目し、基礎部での連結構造としての適用性検討および構造性能評価を行った。その結果、一定以上の埋め込み長が確保出来た場合、モルタルに影響を及ぼさずに外鋼管まで荷重を伝達し、合成鋼管として確実に機能出来ることが明らかとなった。さらに、埋め込み長による影響を解析的に検討することで、本構造の曲げ耐荷機構の違いについて明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本構造のようなコンクリートを充填していない鋼管同士をコンクリートやモルタルなどを介して二重鋼管構造として接合する方法、近年、国内外で検討が行われているが、円形断面の組合せの2重鋼管構造がほとんどである。それに対して、円形のみならず矩形との組み合わせも含めて検討をしており、照明柱以外の構造物の接合に対する研究に対して意義がある。また、維持管理が重要な時代において、簡易的な更新方法を提案することはコスト面のみならず、管理者の選択肢を増やすことになり、有意義な提案となる。

研究成果の概要（英文）：At the lighting poles, the corrosion of the foundation which occurs mainly close to the ground becomes the problem. In this study, Mortar Filled Double Steel Tubular members was focused on as a new update method of implanted basic lighting poles and examined the applicability of connection structure. Experiments of three-point bending tests showed the range which can function surely as composite structure when it has implantation length above a certain level. Moreover, FEM analysis was conducted to examine influence of implantation length, and as a result, the difference of bending load bearing mechanism of this structure became clear.

研究分野：コンクリート構造

キーワード：照明柱 更新 モルタル充填2重鋼管 ソケット式接合

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

屋外の照明灯は生活の安全・安心のため、多くの場所に設置されているが、近年は劣化等により毎年のように倒壊事故が報告されている現状にある。照明柱においては、**図-1** に示す様にコンクリート基礎に対して、ベースプレート式、埋め込み式の2通りの方式で、設置されている。街路灯・公園灯などにおいては、ベースプレート式と埋め込み式が混在しており、柱基部の腐食に対する補修・補強対策として FRP シートや鋼板による巻き立て補強工法や近年は柱内部に FRP ロッドを補強材としてモルタルを充填する工法などが開発されている。しかし、FRP 巻き立て補強において、施工によって FRP 内に水が溜まる現象が生じてしまうことが報告されており、巻き立て補強を利用しない地域もある。

照明柱の劣化状況や長寿命化を考えた場合、補修・補強ではなく更新も選択肢の一つであり、ベースプレート式はボルトを外すことで、容易に照明柱を更新できるが、埋め込み式の場合は、コンクリート基礎部も解体しなければ照明柱を取り換えることが出来ないため、コンクリート基礎の工事も含めると最大 1 週間程度更新に時間を要している。日常に必要なものであるにも関わらず、供用に時間を要さない更新方法の開発がなされていない。既存設備の利用と言う観点からは、その開発が補強するよりも維持管理および長寿命化での利点につながる場合があると考えられる。また、既存の照明は、照明柱内に安定器を設置する関係上、柱断面を大きくする必要があったが、近年は LED 照明の発達に伴い、安定器が不要になり、照明柱の断面を小さくすることが可能になった。その上、経済的であることから、順次、照明灯のみを LED に更新している現状がある。そのため、埋め込み式照明柱に対して LED への変更に併せて、もしくは既に LED に変更した照明柱への簡易的な更新工法の開発が望まれる。

なお、径の異なる円形鋼管の接合としてソケット式接合の提案はされているが、接合部の内鋼管内にコンクリートを充填して剛な接合部としており¹⁾、コンクリートを充填しないものでは鋼管杭との接合の研究²⁾が行われているが接合に用いられる外側の鋼管の径および剛性が非常に大きいものが対象であり、かつ新設構造への適用の検討のみである。

2. 研究の目的

本研究は、照明灯の LED 化に伴い照明柱断面縮小が可能になったことを利用して、埋め込み式照明柱の簡易更新構造の力学特性の把握を行い、その適用性を明らかにすることを目的とする。更新時の構造は、**図-2** に示すように既存の照明柱の基礎部を活用し、新規照明柱を基礎に埋め込まれた既存照明柱鋼管と新規照明柱鋼管の間をモルタルで充填する二重鋼管構造として連結・固定する方法を提案する。その構造が適用可能であることを検討するために、載荷実験および FE 解析による検討を行うものである。なお、照明灯を設置しているため、基礎内に電気ケーブルが配線されていることから、更新時の埋め込み長を既設鋼管より短くすることを前提に検討を行った。ただし、照明柱断面は円形のみならず矩形の場合もあるため、既設照明柱と新規照明柱断面の組み合わせによる影響も含めて検討を行い、適用の検討を行うものである。

3. 研究の方法

(1) 既存円形照明柱に対する基礎への埋め込み長（二重鋼管部分の長さ）による影響

埋め込み長に対しては基礎内のケーブル配置を考慮して、30cm 以下の埋め込み長（接合長さ）に対して円滑な応力の流れでかつ安定挙動が確保できる埋め込み長を載荷実験により検討する。実験は、**図-3** に示すように中央部分が二重鋼管の連結構造からなる単純梁に対する 3 点曲げ載

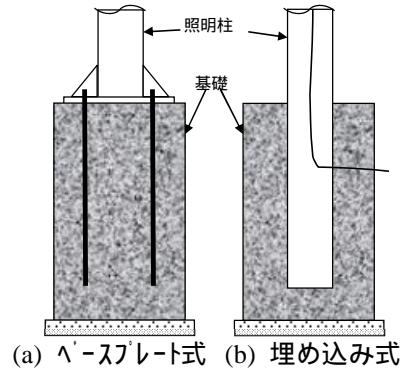


図-1 照明柱基礎の概念

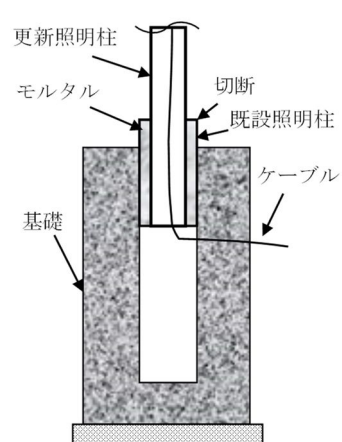


図-2 更新時構造案概要

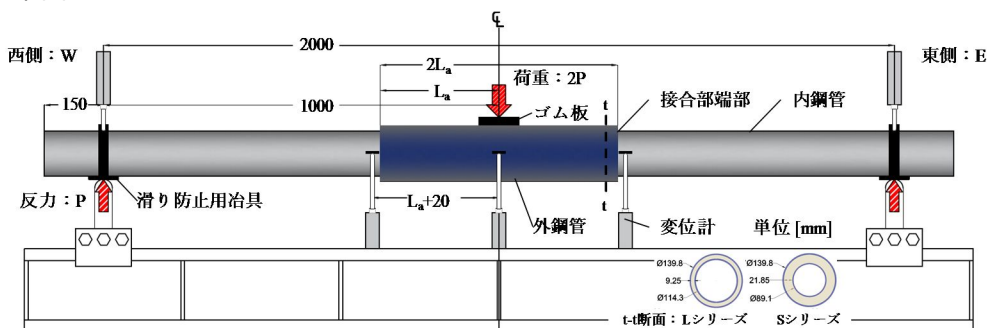


図-3 実験装置概観

荷とした。本来、照明柱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させ全長 2300mm の部材とした。使用したモルタルは超速硬高流動モルタル(圧縮強度 50N/mm²程度)を使用し、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とし、外鋼管の長さの半分を埋め込み長: L_a と定義している。表-1 に供試体一覧を示す。外鋼管径は $\phi 139.8\text{mm}$ で一定とし、内鋼管は $\phi 114.3\text{mm}$ (L シリーズとする)と $\phi 89.1\text{mm}$ (S シリーズとする)を使用した。

表-1 円形供試体一覧

供試体名称	内鋼管			外鋼管			埋め込み長		分類
	外径	鋼管厚	径厚比	外径	鋼管厚	径厚比	L_a [mm]	倍数 表記	
	D_i [mm]	t_i [mm]	D_i/t_i [-]	D_o [mm]	t_o [mm]	D_o/t_o [-]			
L-0	114.3	3.5	33	-	-	-	-	-	単体
S-0	89.1	3.2	28	-	-	-	-	-	
L-1.30	114.3	3.5	33	139.8	3.5	40	150	1.30D _{il}	Lシリーズ
L-1.50							170	1.50D _{il}	
L-1.75							200	1.75D _{il}	
L-2.20							250	2.20D _{il}	
L-2.60							300	2.60D _{il}	
S-1.25	89.1	3.2	28				111	1.25D _{is}	Sシリーズ
S-1.50							134	1.50D _{is}	
S-1.75							156	1.75D _{is}	
S-2.00							178	2.00D _{is}	
S-2.50							223	2.50D _{is}	

$D_{il}=114.3\text{mm}$, $D_{is}=89.1\text{mm}$

表-2 矩形供試体一覧

供試体	内鋼管			外鋼管			埋め込み長 (mm)
	形状	径(mm)	板厚(mm)	形状	径(mm)	板厚(mm)	
D125-t3.2	円○	89.1	3.2	矩形	125	3.2	250
D125-t6.0						6.0	
D150-t3.2					150	3.2	
D150-t6.0						6.0	

(2) 既設鋼管(照明柱)の腐食に伴う減肉による影響

既設鋼管の腐食劣化による減肉の影響を検討するため、実験モデルに対して再現解析を行い、妥当性を検証の上、既存照明柱が減肉しているパターンについて FEM によりパラメトリック解析を行い、適用性について検討した。ただし、解析では突合せ部の外鋼管のみを固定とする片持ち梁形式で実施した。

(3) 動的繰返し载荷によるの検討

常に風荷重を受ける照明柱は繰返し振動する構造である。そのため、モルタル充填二重鋼管接合部に作用する繰返し荷重に対する挙動に対して実験により検討を行った。想定構造における通常時の基部に作用する設計荷重(曲げモーメント)を基準として、設計時(風速 60m/s)³⁾までを想定して繰返し载荷することで、基礎部への影響の検討を行った。

(4) 矩形断面に対する影響

既設照明柱が矩形断面の場合の埋め込み長の検討を実験および FE 解析により行う。実験は FE 解析による結果を踏まえ、内鋼管の拘束効果が円形同士より低下するため、既存鋼管となる外鋼管の剛性を変化させて実施した。ただし、実験および解析手法は(1),(2)に準拠するとともに、解析結果を踏まえて埋め込み長 250mm として実施した。供試体一覧を表-2 に示す。

4. 研究成果

(1) 既存円形照明柱に対する基礎への埋め込み長(二重鋼管部分の長さ)による影響

载荷後における供試体の破壊性状は、全てにおいて接合部付近の内鋼管に局部座屈が生じて終局に至った。図-4 に例を示すが、充填したモルタルの状況を確認すると、内鋼管の突合せ部におけるひび割れに加えて埋め込み長が短くなるほどひび割れが多くなっていた。さらに、図の左側に示すように接合部表面のモルタルに放射状のひび割れが生じていたが、埋め込み長が短いと、支圧と逆側である図の のひび割れが斜めひび割れに発展しており、埋め込み長の違いによる影響が表れた。

次に計測した軸方向ひずみの分布を検討する(図-5)。縦軸には二重鋼管中心からの高さを、横軸にはひずみ計測値を示しており、着目点は各供試体において接合部端部の内鋼管に降伏曲げモーメント(M_y)が作用した場合としている。また、凡例はひずみの計測位置(埋め込み位置)を内鋼管径の倍数表記で示しており、L シリーズと S シリーズを併せて示す。両者とも埋め込み位置が長くなるにつれて内鋼管ひずみの値が小さくなり、外鋼管ひずみが大きくなり、外鋼管への曲げモーメントの分担が増加していることがわかる。完全合成挙動となる平面保持の仮定が成り立つ位置は、L シリーズでは 1.40D_{il} 付近、S シリーズでは 2.0D_{is} 手前と考えられる。



(a) S-1.50

(b) S-1.75

図-4 充填モルタルの様子

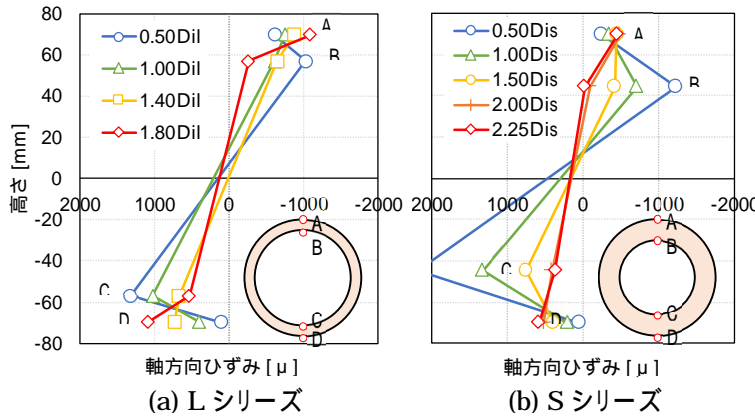


図-5 軸ひずみ分布

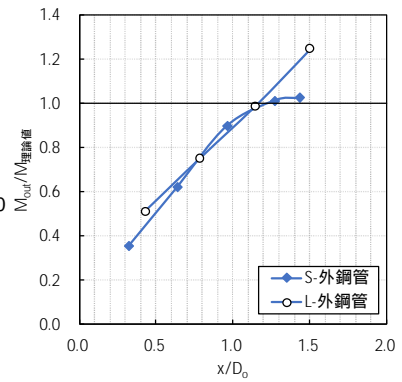


図-6 外鋼管径を基準とした外鋼管曲げモーメント分布

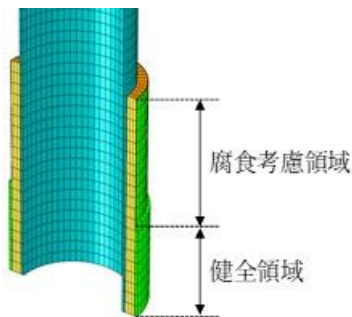
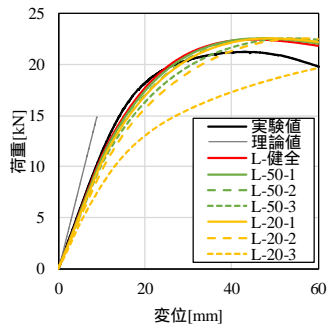
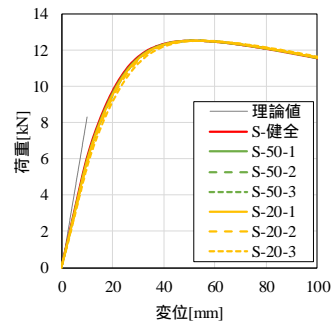


図-7 解析モデル例



(a) L シリーズ



(b) S シリーズ

図-8 荷重変位関係

本構造における円滑な力の流れには平面保持の仮定が成り立つ埋め込み長より大きな埋め込み長が必要となるが、単純に内鋼管の径の大きさによって決定されるものではないことがわかった。そこで、図-6 に外鋼管径を基準とした埋め込み位置に対する外鋼管のひずみより算出した曲げモーメントを示す。ただし、曲げモーメントは完全合成の場合の外鋼管の理論値に対する比率で示す。図より、両シリーズとも理論値に達するまで類似した値を示している。つまり、外鋼管への力の伝達は内鋼管径の大きさに依存するのではなく、外鋼管径（剛性）に依存すると考えられ、完全合成となるためには外鋼管径 Do の 1.2 倍(170mm)程度必要であり、加えて、その後の内鋼管の分担が 0 になるまでの長さが必要となるため、埋め込み長は 200mm 以上必要と考えられる。なお、FEM によって再現解析を行うとともに、詳細検討を行った結果、埋め込み長が 200mm 以上で、内鋼管の安定挙動が確認できた。

(2) 既設鋼管（照明柱）の腐食に伴う減肉による影響

既存鋼管の地中に埋め込まれている部分に腐食が生じている場合を想定し、図-7 の様に局所的な減肉を考慮したモデルを作成し FE 解析を行うことで腐食の影響を検討した。実験結果を踏まえ、埋め込み長 200mm を基準とした既存鋼管である外鋼管の腐食は残存板厚 50% (1.75mm) と 20% (0.7mm) とし、腐食の範囲である減肉深さは挿入した内鋼管径 Di に対して $1/3Di$ 、 $2/3Di$ 、 $1Di$ ($3/3Di$) の範囲で鋼管厚を変化させている（この範囲に合わせ同じ減肉厚の物を 1,2,3 と番号付けしている）。

図-8 に各シリーズの荷重変位関係について示す。残存板厚 50% のモデルでは局所的に板厚の減少があるため剛性に若干の低下が見られる結果となった。基本的には降伏荷重程度までは線形挙動を示しており、検討した照明柱に対して設計荷重時(4.0kN 程度)の板厚減による影響は荷重変位関係からは示さないことが明らかとなった。しかしながら、残存板厚 20% のモデルに関しては 50% のモデルと比較しても荷重低下がより明確に示されており、特に L-20-3 では他の結果とは大幅に異なる結果を示しており、初期剛性も突出して低くなっている。一方、S シリーズにおいては腐食がない健全のモデルと比較して、腐食の有無にかかわらず荷重変位関係には差が顕著に表れていない結果が示された。内鋼管径によって影響は異なるが、どちらにおいても減肉厚 50% でも適用への影響は小さいことが分かった。

(3) 動的繰返し载荷によるの検討

交番载荷時の影響を検討するため、設計時の曲げモーメントが接合部に作用するように振動台を用いて検討することとした。供試体は、L、S の両シリーズについて共に 2.5m、埋め込み長は 200mm と統一した。図-9 に供試体例を示す。

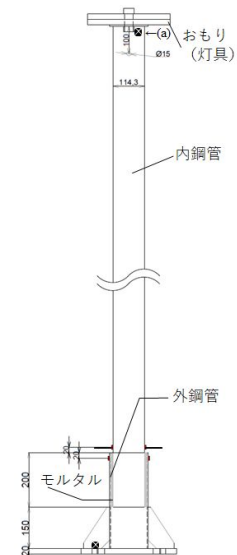


図-9 供試体概要

各回の最大応答値として接合部付近の外鋼管圧縮ひずみを図-10に示す。繰返し载荷によって1回目の値より両者とも増加傾向にあり、4,5回で概ね安定した値となった。これは、内鋼管とモルタルの付着切れの範囲が安定した結果と考えられる。

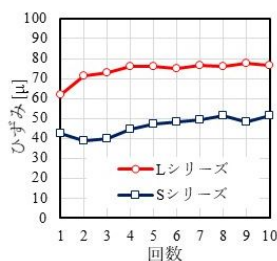


図-10 外鋼管最大圧縮ひずみ



(a) L シリーズ (b) S シリーズ

図-11 载荷終了後の接合部状況

両者を比較するとSシリーズの方が、外鋼管に生じるひずみは小さく、モルタル厚の影響により外鋼管に生じる作用が小さくなったことが考えられる。なお、頂部加速度から算出したパワースペクトルの最大振幅時の周期はS, Lシリーズそれぞれ0.320~0.325sec, 0.233~0.238secとほぼ変化はしていなかった。そこで、図-11に10回载荷後の接合部状況を示す。目視上は試験前と変化が見られず、接合部付近の残留ずれ変位においては0.01mm未満の値であり、本接合構造において、200mm程度の接合で問題ないことが確認できた。

また、通常時の疲労耐久性を確認するため、風速15m/sec相当の荷重レベルでの500万回の繰返し载荷において、接合部に影響は見られなかった。

(4) 矩形断面に対する影響

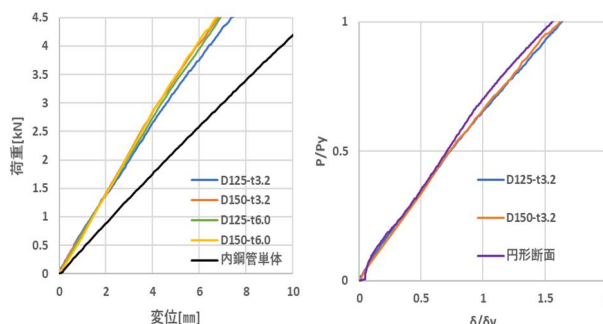
外鋼管が矩形断面に対して内鋼管に円形もしくは矩形を用いた場合の押し抜き試験により矩形と矩形の組み合わせでは、付着強度が小さくなったことから、矩形に円形鋼管を接合する場合を対象として曲げ試験を実施した。

図-12に荷重-中央変位関係を示す。図(a)は設計荷重時(4.5kN程度)までの図である。供試体間での差はほぼ無いが、D125-t3.2の初期剛性のみが少し低い値となった。内鋼管単体の荷重-変位と比べると、初期剛性が向上していることから、二重鋼管構造による補強効果が確認できる。円形断面と矩形断面による比較を行うため、S-2.50の結果を図(b)に示す。完全剛性と仮定した理論降伏荷重と変位で無次元化している。断面形状に関わらず初期剛性は同じであるが、 P/P_y が0.4程度で差が生じている。これはひび割れの発生などによる拘束効果の違いと考えられる。次に図-13に各供試体の埋め込み位置ごとの曲げモーメント分担率を示す。ここでの曲げモーメントは、設計荷重時の曲げモーメントにおける分担率を、破線は二重鋼管部が完全合成と仮定した時の理論値である。外鋼管の形状に関わらず200mm程度で完全合成と同等の分担になった。円形と比べて大きくなり、形状による拘束効果の違いによって必要埋め込み長が変化することが分かった。本実験供試体においては、板厚6.0mmの場合は、埋め込み位置250mmで外鋼管にすべての応力の伝達を円滑に行うことが可能と考えられる。つまり、コンクリート基礎も考慮した形で拘束されていると考えると適用可能と考えられる。

以上より、円形の照明柱に更新する場合のモルタル充填二重鋼管接合による照明柱の更新の適用性が明らかになった。さらに、外鋼管に矩形を用いる場合の耐久性や矩形の照明柱に更新する場合の適用性を明確にする必要がある。

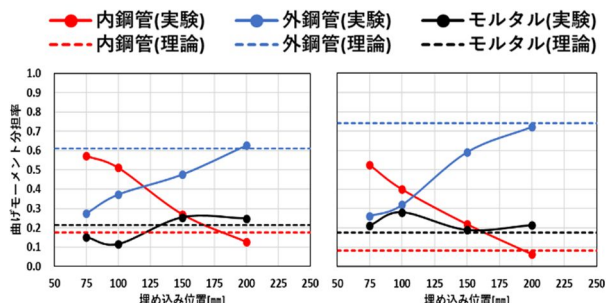
参考文献

- 1) 土木学会：複合構造標準示方書 設計編，pp.476-481，2014
- 2) 石井，他：杭頭リングソケット工法の開発，清水建設研究報告，第84号，pp.9-20，2006
- 3) 日本照明工業会：照明用ポール強度計算基準（JIL1003），2009.12



(a) 矩形断面比較 (b) 形状比較

図-12 荷重変位関係



(a) D125-t3.2 (b) D150-t6.0

図-13 曲げモーメント分担率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 角掛久雄, 菅祐太郎, 川満逸雄	4. 巻 42
2. 論文標題 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	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 961-966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 林周子, 角掛久雄, 川満逸雄, 塩津良将	4. 巻 75
2. 論文標題 矩形断面既存照明柱へのモルタル充填二重鋼管に関する解析的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会第75回年次学術講演概要集	6. 最初と最後の頁 CS6-03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 林周子, 角掛久雄, 川満逸雄, 塩津良将	4. 巻 -
2. 論文標題 矩形断面既存照明柱 へのモルタル充填二重鋼管の適用性に関する解析的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 角掛久雄, 菅祐太郎, 川満逸雄, 塩津良将	4. 巻 Vol. 74
2. 論文標題 モルタル充填二重鋼管構造とした照明柱基礎連結部に関する実験的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会題74回年次学術講演概要集	6. 最初と最後の頁 CS6-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------