

鉄道建築物の直接基礎工事における現場作業省力化工法(オキカル工法)



篠田 拓人*1



原口 圭*2



和田 泰典*3



小嶋 裕記*4

Labor-saving method for on-site work in direct foundation construction of railway structures (Okikaru Method)

Takuto SHINODA*1, Kei HARAGUCHI*2, Yasunori WADA*3, and Yuki KOJIMA*4

*1 Assistant Chief Researcher, Structural System Design Unit of Research and Development Center of JR East Group

*2 Chief Researcher, Structural System Design Unit of Research and Development Center of JR East Group

*3 Manager, Structure Technology Center of JR East Group

*4 Member, Structure Technology Center of JR East Group

Abstract

Constructing direct foundations on railway platforms is time-consuming and costly, as work needs to be conducted during only a few hours at night. Therefore, we have developed the “Okikaru Method”. This method saves manpower needed for certain jobs by doing pre-casting work off-site. Additional benefits of conducting work off-site include more effective, quality control. Here we give the summary and background of this development. This method is the result of joint research and development with Tekken Corporation.

●**Keywords:** Labor-saving, On-site work, Direct foundation, Precast, Railway structures, Closed lap joint

*1 JR東日本研究開発センター 構造システムデザインユニット 副主幹研究員

*2 JR東日本研究開発センター 構造システムデザインユニット 主幹研究員

*3 構造技術センター 建築技術ユニット マネージャー

*4 構造技術センター 建築技術ユニット 付勤務

1. 緒言

駅改良および耐震補強施策において、旅客上家の新築ならびに改良工事の基礎工法として、直接基礎が採用されることがある。鋼管杭を選択する杭基礎の場合には、施工性向上を図った柱杭接合工法¹⁾が開発されているが、直接基礎(図1)を選択する場合には現場での配筋とコンクリート打設を行う在来工法によらざるを得なかった。鉄道工事においては、列車が運行しない時間帯(終電～始発間)で行う必要があり、かつ狭隘箇所に伴い施工性が悪いことから、長工期や高コストが課題となっていた。

そこで、上記の課題解決のため、基礎スラブのプレキャスト化工法の開発を行った。その際、既往の継手工法である「閉合重ね継手方式」²⁾(図2)の適用範囲拡大を試みた。「閉合重ね継手方式」は土木工作物(ボックスカルバート)における最終エレメントの継手工法の一つである。

本報では、開発したプレキャスト化工法『オキカル工法』の概要と施工試験、引張試験および交番載荷試験の概要を報告し、併せて技術資料の提案を行う。なお、本工法は鉄建建設(株)との共同研究開発によるものである。

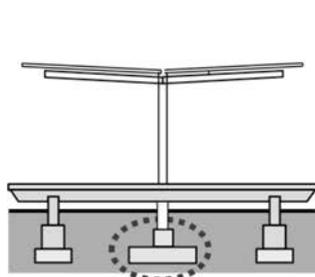


図1 旅客上家の直接基礎

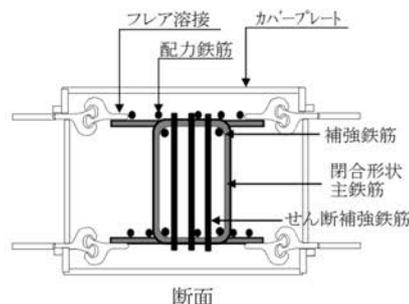


図2 閉合重ね継手方式配筋図²⁾



2. 開発工法

図3に開発した工法の模式図を、図4に施工ステップを示す。現場にて主筋を含んだプレキャストのピースを並べ、補強鉄筋を挿入する。その後、コンクリートもしくはグラウトを打設する。

表1に「閉合重ね継手方式」の適用範囲拡大の項目および仕様を示す。これは、鉄道建築物の小規模断面に使用すること並びに施工性を向上させることを目的としたものである。

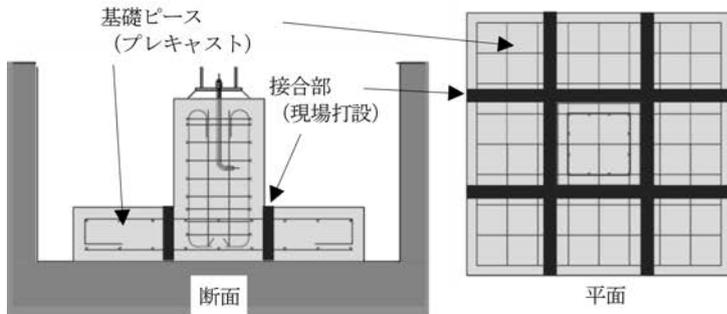


図3 オキカル工法模式図

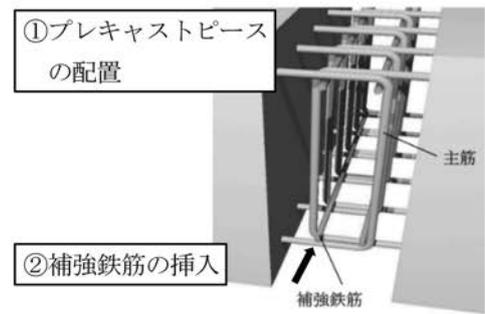


図4 施工ステップ

表1 閉合重ね継手方式の適用範囲の拡大

項目	既往		今回
主筋径	D16 以上	→	D13 以上
鉄筋折り曲げ半径	3 φ		1.5 φ
鉄筋種別	SD345		SD295
コンクリート強度	24 N/mm ²		21 N/mm ² もしくはグラウト

3. 施工試験

3・1 施工試験概要

補強鉄筋の挿入・結束が可能な継手幅および主筋間隔、基礎厚を確認するため、施工試験を実施した。試験体諸元を表2に示す。試験体①において作業スペースとして継手幅120 mmは余裕があったため、試験体②③ではは継手幅を110 mmとした。ここで継手幅110 mmとは、鉄筋のあき、折り曲げ半径、直線重ね長さの最小値を足し合わせた寸法である。また、補強鉄筋挿入の妨げとなる周辺環境条件として、45°のり面を再現し(図5)、プレキャストピースは木材によって再現している。主筋はD13、補強鉄筋はD10を使用した。

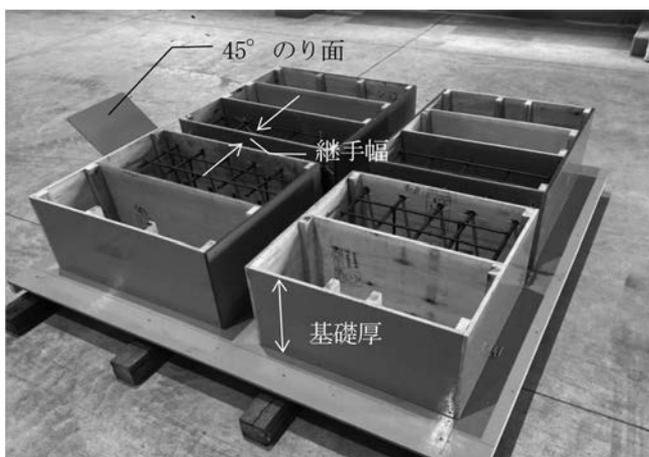


図5 施工試験試験体

表2 施工試験諸元

試験体	基礎厚 (mm)	継手幅 (mm)	主筋間隔 (mm)
①	250	120	110~120
②	350	110	
③	550	110	

3・2 施工試験結果

継手幅110 mm、主筋間隔110 mmおよび基礎厚250~550 mmの直接基礎について、補強鉄筋の挿入・結束の施工性に問題がないことが確認できた。図6に施工試験の様子を示す。ただし、図7に示すように継手幅が狭いため補強鉄筋が曲げ加工部手前の水平部分（ずらし位置）にしか結束できないことがわかった。これは継手主筋曲げ加工部のコンクリート定着力に影響を及ぼす恐れがあるため、引張試験にてその影響を確認することとした。



図6 施工試験の様子

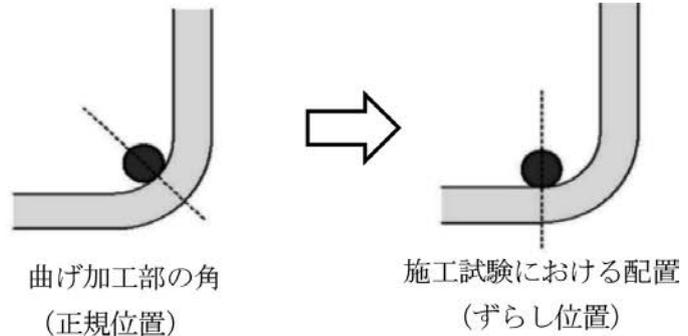


図7 補強鉄筋の配置

4. 引張試験

4・1 引張試験概要

引張試験では、主筋径と鉄筋折り曲げ半径を文献²⁾よりも小さくすることに伴う、最大引張り荷重の増減傾向をとらえることに加え、補強鉄筋が曲げ加工部の角（正規位置）ではなく水平部分（ずらし位置）に結束された場合に定着力の低減があるかを確認することを目的とした。また、高強度のグラウトを用いることで補強鉄筋を省略できるかの検証も行った。試験体諸元を表3に、材料試験結果を表4~5に示す。

試験体は直角に曲げ加工した主筋をコンクリートやグラウト製のブロックに埋め込んだ形状（図8）であり、この最大引張り荷重が文献²⁾実験結果の回帰式を満足するかを確認することとした。

なお、主筋はコンクリート割裂破壊前の降伏を避けるため高強度鉄筋を使用した。D13の代替としてU12.6 ($d=13$ とする)を使用した（表3）が、折り曲げ半径 $r=1.5\phi (=19.5\text{ mm})$ の加工の難易度が高く、 $r=20\text{ mm}$ とした。コンクリート割裂破壊を先行させるため普通コンクリートは低強度規格のもの（ 15 N/mm^2 ）を用いた。

曲げ加工部より先の主筋の定着力のみに着目するため、曲げ加工部手前の直線部分には図8に示すようにビニールテープを巻き付着力が発生しないように処理した。

载荷は図9に示すように試験体自体を反力とし、主筋に引張荷重を単調に与えた。载荷は曲げ加工部で支圧破壊が生じるか、主筋が引張降伏するまで行うこととした。

表3 引張試験体諸元

No	主筋	折り曲げ半径(mm)	躯体	材料強度規格値 (N/mm ²)	補強鉄筋	
1	D16 (MK785)	24	コンクリート	15	なし	
2			グラウト	50		
3	U12.6 (SBPD1275)	20	コンクリート	15		
4			グラウト	50		
5			コンクリート	15		D10(SD295)
6			グラウト	50		(正規位置)
7			コンクリート	15		D10(SD295)
8			グラウト	50		(ずらし位置)

表4 コンクリートおよびグラウトの材料試験結果

材料	材料強度規格値 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²) (材齢 27 日)
普通コンクリート	15	20.9
グラウト	50	82.5

表5 鉄筋の材料試験結果

材質	降伏強度 (N/mm ²)
高強度鉄筋 (D16)	845
高強度鉄筋 (U12.6)	1346

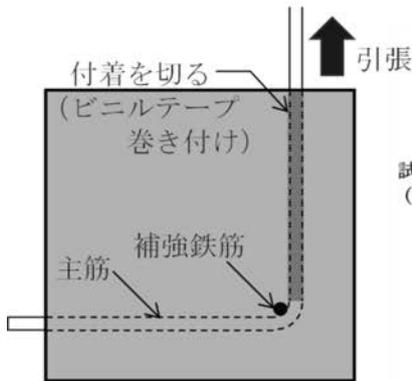


図8 引張試験体イメージ

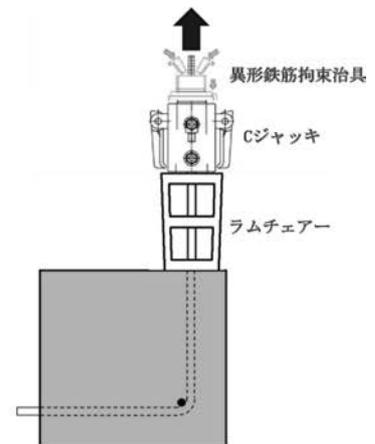
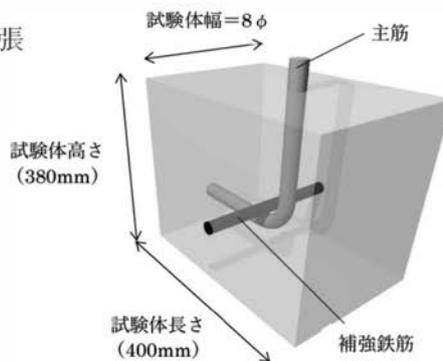


図9 引張試験装置概要

4・2 引張試験結果

破壊状況を図10に、引張試験結果を図11に示す。主筋は引張降伏せず、全て支圧破壊となった。コンクリート試験体においては主筋D13、折り曲げ半径1.5φでも回帰式²⁾の値を満足した。最大荷重は補強鉄筋の正規位置とずらし位置とで同程度となり、ずらし位置でも主筋定着力が低下しないことが確認できた。一方で、コンクリートの代わりにグラウトを用いることにより、強度の比率ほどの最大荷重の上昇は見られなかったものの、より高強度のグラウトを用いることでコンクリートと補強鉄筋の組合せの代替となり得る結果となった。文献²⁾実験結果の回帰式を満足できなかった要因として、コンクリートは骨材の影響により圧縮強度に達した後の破壊は徐々に進行するが、グラウトは急激に耐力が減少することが考えられる。

また、補強鉄筋の有無が引張荷重に影響を及ぼすことを確認した。

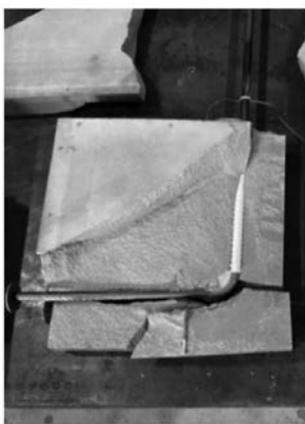


図10 破壊状況 (試験体No.2)

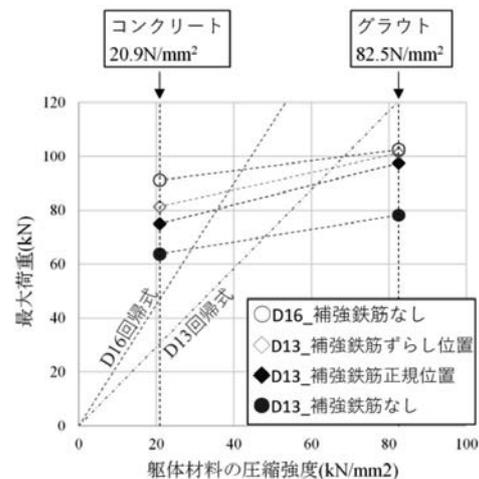


図11 引張試験結果 最大荷重-圧縮強度関係

5. 曲げ載荷試験

5・1 曲げ載荷試験概要

施工試験および引張試験結果において、閉合重ね継手方式が鉄道建築物の小規模断面に適用できる可能性を示した。ここでは曲げ載荷試験を行い、閉合継手の強度(継手強度)を確認することを目的とした。

試験体は原寸とし、中央に閉合重ね継手を設けた梁材とした。主筋径、補強鉄筋の有無、継手部の充填材料および強度、主筋の継手長さを変えた合計10体とした。試験体諸元および形状を表6、図12に示す。文献²⁾を参考に、主筋は継手部破壊前に降伏することを避けるために高強度鉄筋を使用し、主筋の降伏有無を確認するために主筋の水平部にひずみゲージを貼付した。施工試験結果および引張試験結果より、補強鉄筋は全てずらし位置とした。打継部には目荒らしを施し、継手部へのコンクリートおよびグラウト打設前に湿潤させた。

No.8~10については、グラウト製品による差異を確認するため、製造メーカーが異なる100 N級グラウトを使用した。プレキャスト部分のコンクリート設計基準強度は $F_c=21 \text{ N/mm}^2$ で統一した。No.4・10により、高強度グラウトを用い、かつ補強鉄筋が無い場合の耐力を確認することとした。文献²⁾³⁾と同様、支点間距離は3000 mmとし、純曲げとなるよう1000 mm間隔の2点載荷とした。

表6 曲げ載荷試験体諸元

No	主筋	補強鉄筋	継手部充填材				継手長さ (mm /φ)		
			仕様	規格値 (N/mm^2)	圧縮試験結果 (N/mm^2)	材齢 (日)			
1	D16 (MK785)	D13 (SD295)	コンクリート	21	24.2	32	40 / 2.5φ		
グラウト			50				91.2	40	64 / 4.0φ
2		なし	グラウト A	100	131.1	40	32 / 2.0φ		
3			グラウト A				32 / 2.0φ		
4	U12.6* (SBPD1275) *D13 の代替	D10 (SD295)	コンクリート	21	24.2	32	39 / 3.0φ		
5			グラウト				50	91.2	40
6			グラウト B	100	132.4	30			
7			グラウト C				115.4	30	26 / 2.0φ
8			グラウト A						26 / 2.0φ
9		なし	グラウト A	131.1	40	26 / 2.0φ			

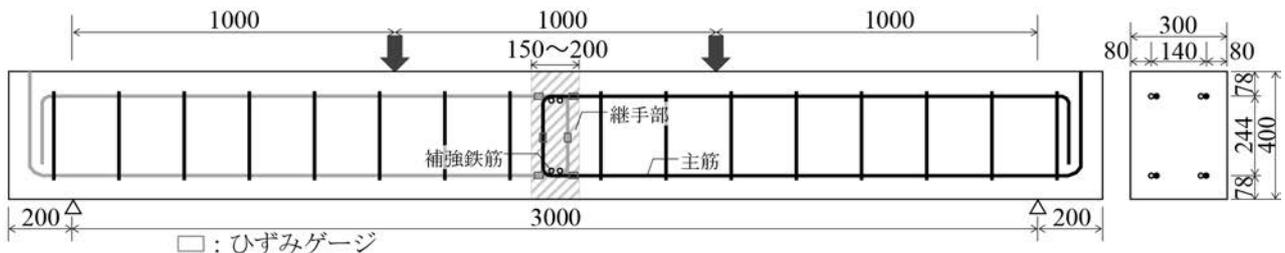


図12 曲げ載荷試験体形状

5・2 曲げ載荷試験結果

破壊状況を図13に示す。曲げひび割れが発生し、ひび割れが拡大しながら最大荷重に達した。すべての試験体において継手部が破壊して耐力を失う継手破壊(渡辺他、2004)(渡辺他、2005)が先行し、主筋の引張降伏は発生していない。主筋D16試験体(No.1~4)および主筋D13試験体(No.5~10)の荷重と中央変位の関係を図14~15に示す。鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説⁴⁾(以下、RC規準)13条に基づき、主筋をSD295として算定した場合の短期許容曲げモーメント時の荷重(以降、設計曲げ降伏荷重)を、比較用として図中に記載した。

すべての試験体で設計曲げ降伏荷重を上回る継手強度を発揮した。このことから、継手部にグラウトを用いて主筋の継手長さを2φ以上確保した場合、閉合重ね継手を設けた部材に対して許容応力度設計を適用しても、引張側主筋が先行降伏する継手性能であることが確認できた。

補強鉄筋を配置していないNo.4・10試験体においては最大荷重に達した直後に急激な荷重低下が発生しており、脆性的な破壊を防止するために補強鉄筋は必須であると考えられる。

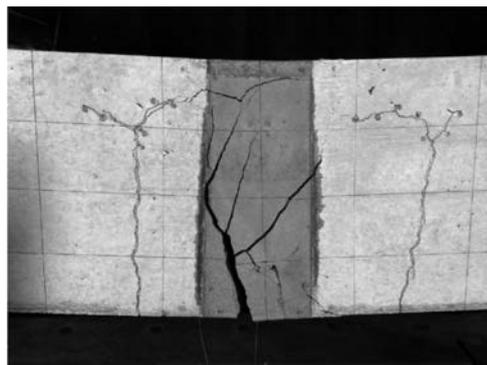


図13 代表的な曲げ試験体破壊状況 (No.8)

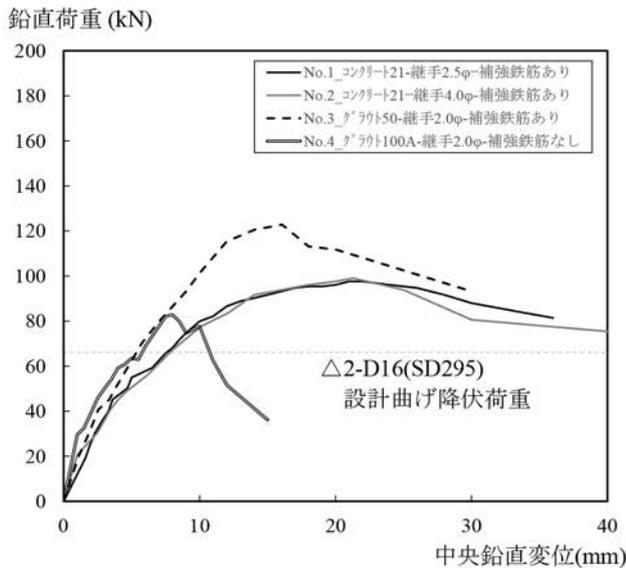


図14 曲げ載荷試験 荷重-中央変位関係 (主筋D16)

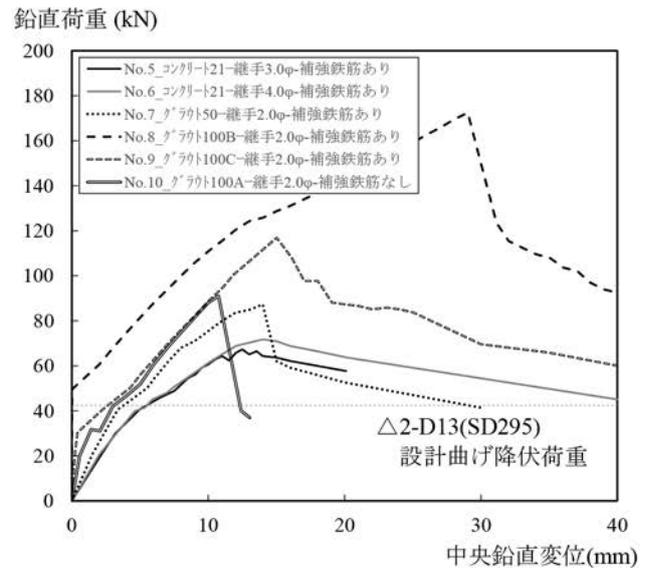
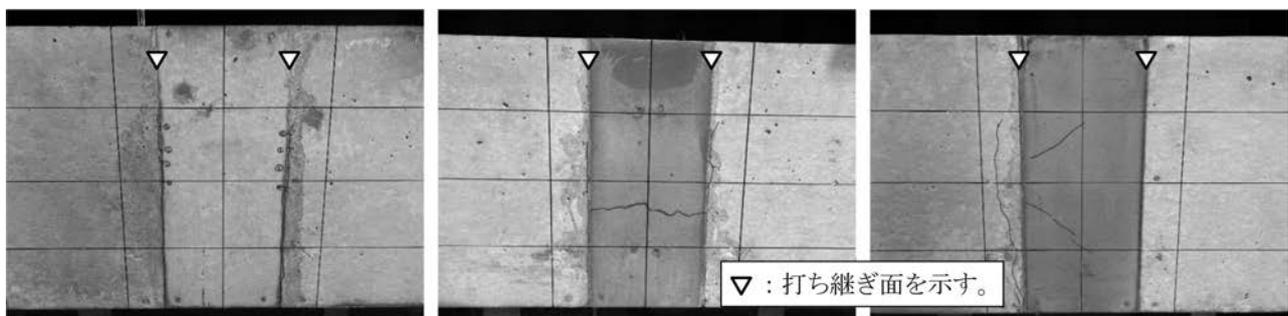


図15 曲げ載荷試験 荷重-中央変位関係 (主筋D13)

5・3 耐久性に関する考察

継手部充填材にコンクリート (No.1) および 50 N 級グラウトを用いた試験体 (No.3) において、図16①・②に示すように載荷荷重 20 kN 程度で打ち継ぎ面の剥離が見られた。この剥離は設計曲げ降伏荷重よりも早期に発生し、以降剥離面が開き続けた。一方で 100 N 級グラウトを使用した試験体では打ち継ぎ面の剥離は見られず、図16③のように打ち継ぎ面以外で曲げひび割れが発生した。

これは発現強度ではなく、グラウトの規格値による物性の差により付着強度に差があるものと考えられる。耐久性の観点から、早期に発生する打ち継ぎ面の剥離を防止するため、継手部充填材には 100 N 級グラウトを用いることが効果的であることが確認された。



①No.1 コンクリート (荷重 19.2kN 時)

②No.3 50N 級グラウト (荷重 20kN 時)

③No.4 100N 級グラウト (荷重 20.7kN 時)

図16 約20 kN 載荷時の剥離・ひび割れ発生状況

6. 技術資料

開発工法の適用範囲、構造細目などをまとめた技術資料を作成した⁹⁾。技術資料は鉄道建築物の直接基礎工事の施工に適用する。以下に定める適用範囲・構造細目を満足することで、従来の許容応力度設計以上の計算は不要である。品質管理は通常の鉄筋コンクリート工事に準拠するものとする。

(1) 適用範囲

- ・塑性ヒンジが形成されない箇所であること。
- ・スラブ形状である。
- ・主筋が上下二段配筋であること。
- ・基礎厚 $t = 250 \sim 550 \text{ mm}$

(2) 構造細目

- ・直線部重ね長さを2φ以上とする。
- ・補強鉄筋は主筋2本以上に跨るよう配置する。
- ・補強鉄筋の端部は主筋から4.5 d突出させること。
- ・継手部には100 N級グラウトを用いる。

(耐久性が要求されない仮設上家等には、プレキャスト部の設計基準強度以上かつ設計基準強度 (F_c) が21 N/mm²以上のコンクリートおよび規格強度が50 N/mm²以上の無収縮グラウト材を用いることができる。)

7. 施工事例

M駅旅客上家耐震補強工事において本工法を施工した。盛土ホーム上にB 1600 mm×D 1600 mm×t 300 mmの旅客上家の直接基礎を構築した。1晩で5ピース全ての運搬、据え付けを終え(図17)、翌日は継手部にグラウトを充填した。従来工法と比較し、約3日の工期短縮となった(5晩→2晩)。このほか、プレキャストピースはホーム外で製作したため配筋やコンクリート打設等が容易になり、品質管理の面においても利点がある。



運搬



据え付け



据え付け後

図17 施工状況

8. 結言

鉄道建築物の直接基礎工事における現場作業省力化工法『オキカル工法』を開発した。開発工法は施工試験、引張試験および曲げ載荷試験にて各種性能を検証し、技術資料を作成に至った。

参考文献

- 1) 竜田、渡辺、原口、志賀、佐藤、阿部、二重鋼管接合構造を有する柱杭接合部に関する研究 その1-4、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、2020、P853-860
- 2) 渡邊、石橋、西島、栗栖、閉合形状に曲げ加工した鉄筋の重ね継手の耐力に関する実験的研究、土木学会論文集、No.763/VI-63、P133-149、2004
- 3) 渡邊、石橋、栗栖、西島、補強鉄筋を有する閉合形状に曲げ加工した重ね継手に関する実験的研究、土木学会論文集、No.791/VI-67、P11-18、2005
- 4) 日本建築学会、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2018
- 5) 篠田、原口、和田、小嶋、旅客上家直接基礎のプレキャスト化、SED : Structural engineering data、No.64、2024、P74-79、