

1

大口径場所打ち杭における杭頭部コンクリートの締固めに関する試験

山内 真也*1・柳 博文*2・西脇 敬一*3

概 要

杭径 3.0m 程度の大口徑場所打ち杭の杭頭部では、小径のものに比べて、かぶり部のコンクリート充てん不良の発生が懸念される。そこで、コンクリート打設後にバイブレータを用いて締固めを行い、かぶり部への充てん不良を防止することとした。充てん不良の防止対策を定めるにあたり、要素試験と実大模型試験を実施した。要素試験により、バイブレータの締固めによる有効範囲およびコンクリート打上り後に締固めを行うことによる泥水のコンクリートへの巻き込み状況を確認した。また、要素試験の結果を基に、実施工を想定して実施した実大模型試験により、バイブレータによる充てん不良対策に効果があることを確認した。

キーワード：大口徑場所打ち杭・杭頭部・充てん不良・バイブレータ

TEST OF COMPACTION OF THE CONCRETE ON THE TOP OF
LARGE-DIAMETER CAST-IN-PLACE PILES

Shinya YAMAUCHI *1, Hirofumi YANAGI *2

Keiichi NISHIWAKI *3

Abstract

For the top of large-diameter (about 3 m) cast-in-place piles, insufficient concrete filling in the cover section may tend to be more significant, compared with smaller-diameter piles. The solution selected for this problem is to use a vibrator for compaction of placed concrete to prevent insufficient filling in the cover section. In order to define the preventive measure to insufficient concrete filling, the element tests and the real large model tests were carried out. Element tests were conducted to determine the effective range of compaction with a vibrator and to check inclusion of mud water into placed concrete as a result of compaction. On the basis of the results of the element tests, tests with a real large model based on assumptions used in the actual project were conducted, to successfully verify effectiveness of compaction with vibrator for preventing insufficient filling.

Keywords : Large-diameter cast-in-place piles, Top of piles, Insufficient concrete filling, Vibrator

*1 Foundation / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

*2 Manager, Foundation / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

*3 Material / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

大口径場所打ち杭における杭頭部コンクリートの締固めに関する試験

山内 真也*1・柳 博文*2・西脇 敬一*3

1. はじめに

場所打ち杭のコンクリート充てん不良は、一般に流動性の低いコンクリートの打設やトレミー管の貫入長が長くなることにより生じやすくなる。特に杭頭部では、上方からのコンクリート自重による圧力が小さいため、杭深部に比べて側方への充てん性が低下し、かぶり部の充てん不良の発生が懸念される。また最近の駅ビルや人工地盤の基礎杭は、杭径 3.0m 程度の大口径場所打ち杭で計画されるものもあり、トレミー管からかぶり部までの距離が長くなるため、小径のものに比べて、そのリスクは高くなる。

実施工においては、このような充てん不良を発生させないためには、スランブを大きく設定し、コンクリートの流動性を上げることが効果的であると考えられるが、何らかの原因により施工時間が長引き、スランブが低下した場合には、充てん不良の発生が懸念される。そのため、このような大口径場所打ち杭の杭頭部に対しては、コンクリート打設後にバイブレータを用いて締固めを行うこと（以下、バイブレータ施工

と記す）で、充てん不良を防止する対策を計画している。

本稿では、要素試験によりバイブレータの締固めによる有効範囲および締固めを行うことによる泥水のコンクリートへの巻き込み状況を確認し、次に実施工を想定した実大模型試験を行い、バイブレータの締固めによる充てん不良対策の効果を確認した結果を報告する。

2. 過去の施工試験結果

過去の施工試験¹⁾において、大口径場所打ち杭の杭頭部のコンクリート打設を想定し、コンクリートの充てん性を確認する実大模型試験を実施した。試験は、A 駅ビル工事計画の基礎杭施工を模し、**写真-1**に示す内径 ϕ 3.0m、高さ 3.0m の型枠内に鉄筋を設置し、ベントナイト泥水（濃度 9%、比重 1.05）を満たしてトレミー管によるコンクリート打設を行った。トレミー管は、リバース工法において水頭差 2m を確保することを考慮して、型枠天端から 2m 突出させた。**写真-2(a)**はスランブ 15cm 程度（配

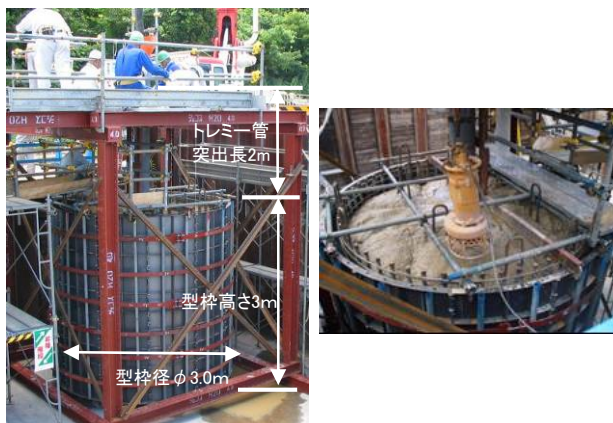


写真-1 過去に実施した実大模型試験



(a)かぶり部充てん不良

(b)かぶり部充てん

写真-2 コンクリートの充てん状況

*1 エンジニアリング本部 研究開発部 基礎・構造グループ

*2 エンジニアリング本部 研究開発部 基礎・構造グループ グループリーダー

*3 エンジニアリング本部 研究開発部 建設材料グループ

合設計のスランブ：18±2.5cm) のコンクリートを打設した際の充てん状況を示したものである。下部 0.7m 程度の範囲までは、かぶり部にコンクリートが充てんされていたが、それより上部の範囲では充てん不良が確認された。なお、スランブが 20.5cm 程度（配合設計のスランブ 21±1.5cm) のコンクリートを用いて打設した場合は、写真-2 (b)のように杭天端のかぶり部までコンクリートが充てんされていた。

この結果より、締固めを行う範囲は、杭天端から 3.0m の範囲とした。これは、充てん性確認試験（写真-2 (a)参照）で、杭高さ 3.0m に対し、下部 0.7m 程度のかぶり部には、スランブ 15cm 程度のコンクリートであれば充てんされていたことを考慮して設定した。

3. 要素試験

3. 1 バイブレータによる締固め方法

バイブレータによる杭頭部の締固め方法は、図-1 に示すとおり、コンクリート打上り後にバイブレータを所定の深度まで挿入した後に 0.5m 間隔で引き上げながら、各深度において 15 秒間締固めを行うこととした。コンクリート打上り後に行うのは、トレミー管の引上げ作業と締固め作業の輻輳をさけるためである。

3. 2 試験フロー及び使用材料

要素試験は 3. 1 で示した締固め方法で、かぶり部のコンクリートを適切に充てんさせることが可能かを検証するため、図-2 に示すフローにて行った。試験には、図-3 に示す棒状バイブレータ（振動部：径φ43mm, 長さ 421mm,

棒状部：長さ 3437mm, 重量 16.8kg) およびフレキバイブレータ（振動部：径φ50mm, 長さ 390mm) を用いた。コンクリートは普通セメント，呼び強度 30N/mm²，粗骨材の最大寸法 20mm のものを，ベントナイト泥水は，実施工を想定し，ベントナイト濃度 9%，比重 1.05 のものを使用した。

3. 3 バイブレータ挿入・引抜き試験

コンクリート内にバイブレータを挿入・引抜きする際は、骨材の摩擦抵抗やセメントミルクの粘性抵抗が働き、人力による施工の可否が懸念されるため、その抵抗力を確認する試験を行った。試験は、図-4 に示す内径φ0.5m, 高さ 4.0m の円筒型枠内にスランブ 15cm 程度のコンクリートを打設し、棒状バイブレータを深度 3.5m まで振動をかけながら挿入後、0.5m 間隔

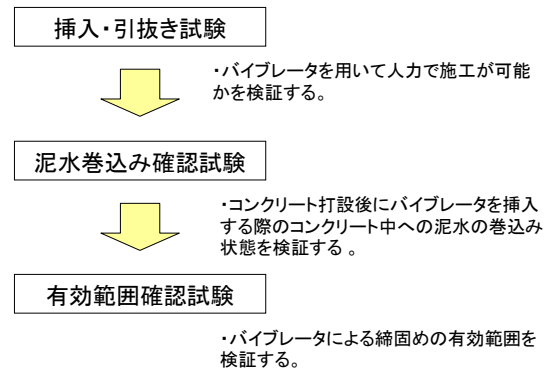


図-2 要素試験 試験フロー

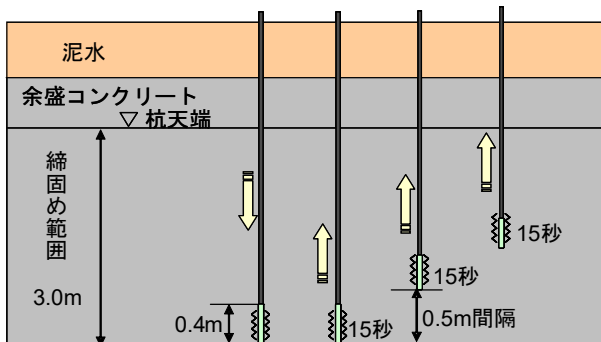


図-1 試験状況 (有効範囲確認試験)



(a)棒状バイブレータ (b)フレキバイブレータ

図-3 使用バイブレータ

で15秒ずつ、振動させながら引抜きを行った。なお、バイブレータの上部に荷重計を設置し、引抜き時の抵抗値を測定した。

バイブレータ挿入時は、振動によりバイブレータ周囲のコンクリートが流動状態となり、力を加えることなく自重のみで3.7mまで挿入できた。また、引抜き時においては、浮力の影響もあり、大きな抵抗もなく人力で施工を行うことができた。図-5は引抜き時における引抜き荷重とバイブレータ先端の深度を表したものである。深度が浅くなるに従い、浮力が小さくなるため引抜き荷重が大きな値となった。なお、コンクリート打設1時間後(スランプ7cm程度)に同様の試験を実施したが大きな抵抗はなく、挿入、引抜きを行うことができた。

3.4 泥水巻き込み確認試験

コンクリート打設後にバイブレータを挿入することによる泥水巻き込みの影響を確認するため、

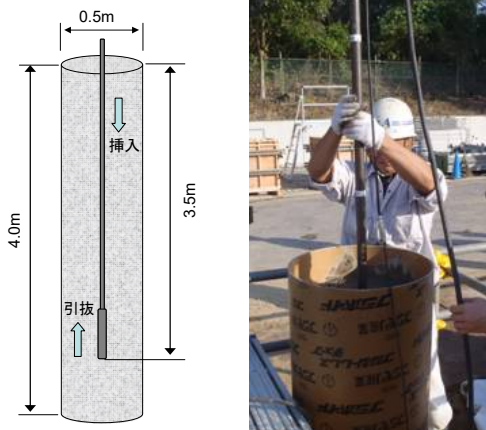


図-4 バイブレータの挿入・引抜き試験

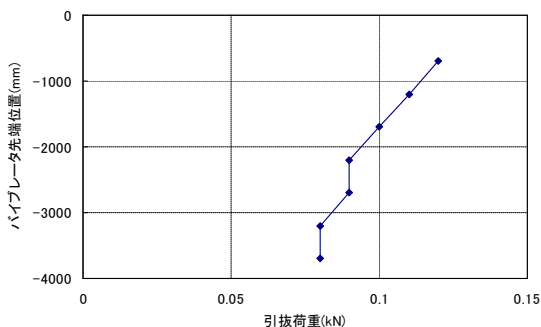


図-5 深度毎のバイブレータ引抜き荷重

泥水巻き込み確認試験を行った。φ1.0m 高さ2.0mの円形型枠にスランプ21cm(配合設計のスランプ: 21±1.5cm)のコンクリートを高さ1.5m打設した後に、ペンキで着色したベントナイト泥水を高さ0.5m充てんした試験体をバイブレータで締固めを行い、コンクリート硬化後の状態を確認した。試験は、図-6および表-1に示す5ケースを実施した。ケース①は泥水との境界面直下で振動させた場合の影響を確認することを目的としている。ケース②~⑤は、バイブレータ挿入時の振動の有無、泥水とコンクリートの境界面での挿入・引上げの影響を確認することを目的として実施した。

試験状況を写真-3に示す。コンクリート硬化後に、バイブレータ挿入・引上げ位置でコア

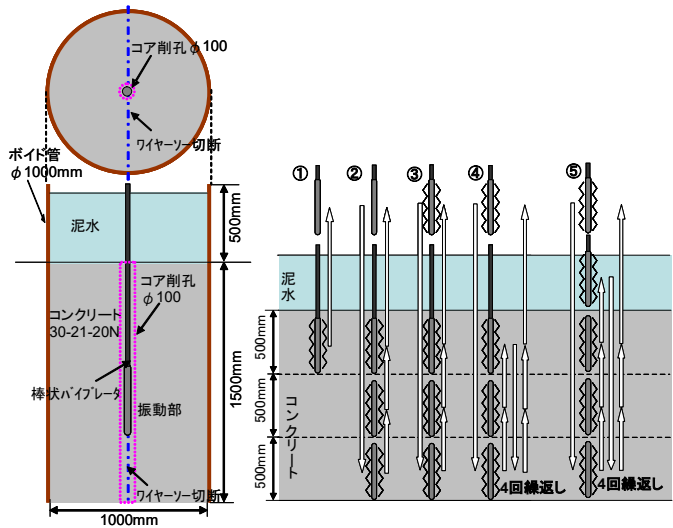


図-6 泥水巻き込み確認試験

表-1 試験ケース(泥水巻き込み確認試験)

| 試験内容 | |
|------|---|
| ① | バイブレータを設置した状態でコンクリート打設、泥水充てんした後に振動をかけ、引き抜く。 |
| ② | コンクリート打設、泥水充てん後、バイブレータを振動させない状態で試験体底部まで挿入し、0.5m毎に15秒かけながら泥水上方まで引き上げる。 |
| ③ | コンクリート打設、泥水充てん後、バイブレータを振動させた状態で試験体底部まで挿入し、0.5m毎に15秒かけながら泥水上方まで引き上げる。 |
| ④ | コンクリート打設、泥水充てん後、バイブレータを振動させた状態で試験体底部まで挿入し、0.5m毎に15秒かけながら引き上げる。引き上げはコンクリート内で行い同様の動作を5回繰返す。 |
| ⑤ | コンクリート打設、泥水充てん後、バイブレータを振動させた状態で試験体底部まで挿入し、0.5m毎に15秒かけながら引き上げる。引き上げは泥水内まで行い、同様の動作を5回繰返す。 |

を採取し、圧縮強度試験を実施した。表-2は泥水とコンクリートの境界面直下のコア（供試体整形のため表面 20~30mm 撤去）の圧縮強度試験結果を示したものである。試験結果から、いずれのケースにおいてもテストピース相当の強度が確認され、呼び強度 30N/mm² が満足されていることを確認した。また、写真-4は、ケース③試験体の切断面とコンクリートコアの状況を示したものである。切断面には泥水の混入はみられず、バイブレータ施工による泥水の巻込みの影響はないことが確認できた。

3.5 有効範囲確認試験

かぶり部への充てんにおいて、バイブレータによる締固めがどの程度の範囲まで有効なのかを確認するため、有効範囲確認試験を行った。

試験体諸元を図-7に示す。鉄筋の純あきは、想定している A 駅ビル工事計画の基礎杭から、水平方向は 78mm（機械式継手φ68mm を模擬）、鉛直方向は 84mm とした。鉄筋を配置した角形型枠内にスランプ 15cm 程度のコンクリートを打設する際には、かぶり部の充てん不良状況を再現するため、鉄筋の外側を鋼板で一時

的に養生を行った。バイブレータは、主鉄筋中心から内側 0.2m、型枠底面から 0.1m 離れた位置で 15 秒間振動させた。試験は、棒状バイブレータを用いたケースとして、かぶり部にベントナイト泥水を充てんしたもの（充てんせず）と気中状態としたものの 2 ケースを実施した。また、フレキバイブレータを用いたケースとして、

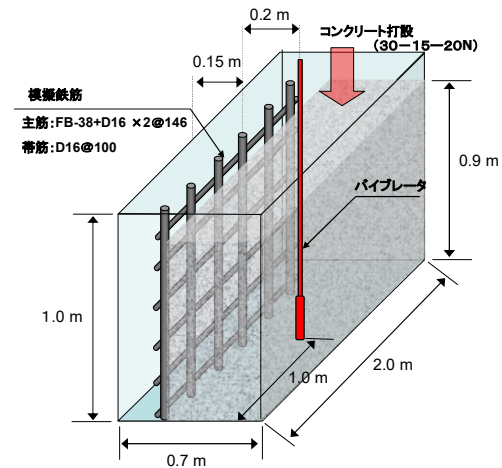


図-7 試験体諸元（有効範囲確認試験）



写真-3 泥水巻込み確認
試験状況

表-2 圧縮強度試験結果

| テストピース | 圧縮強度 (N/mm ²) |
|--------|---------------------------|
| ① | 39.1 |
| ② | 38.9 |
| ③ | 37.5 |
| ④ | 38.6 |
| ⑤ | 39.0 |
| ⑥ | 37.4 |

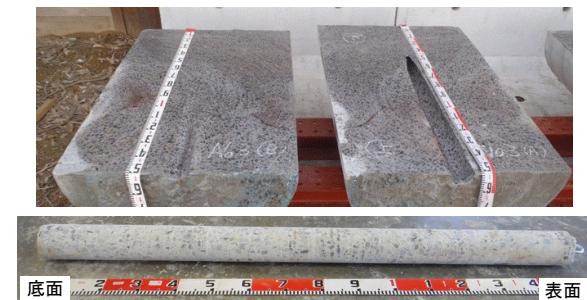


写真-4 試験体切断面・コア状況（ケース③）

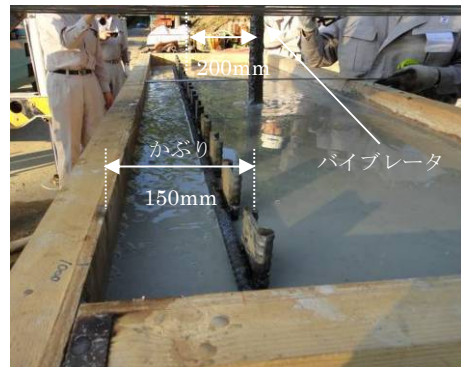


写真-5 試験状況（有効範囲確認試験）

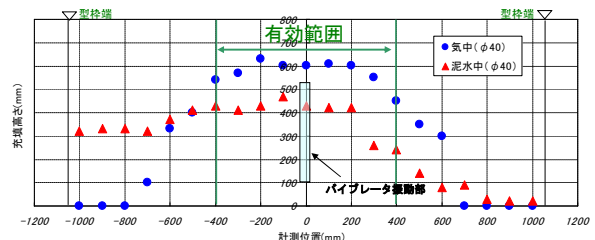


図-8 かぶり部充てん状況（棒状バイブレータ）

かぶり部にベントナイト泥水を充てんしたものを
実施した。試験状況を写真-5に示す。

図-8は棒状バイブレータ施工後のかぶり部
におけるコンクリート面の高さを示したもの

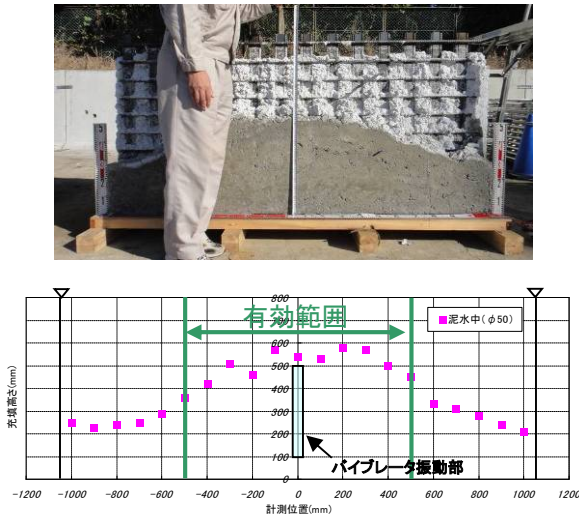


図-9 かぶり部充てん状況(フレキバイブレータ)

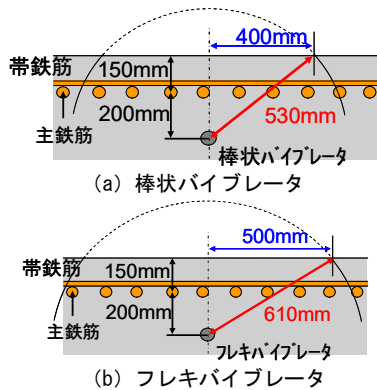


図-10 有効範囲 (円形の場合)

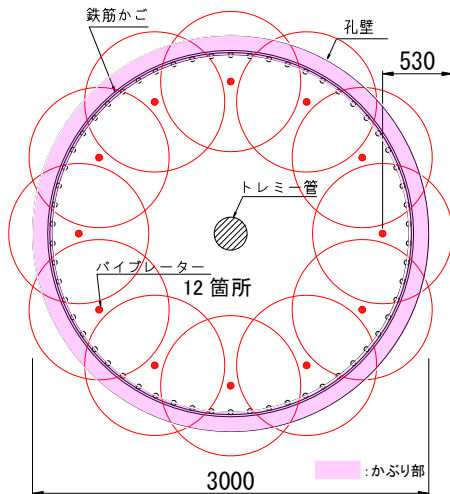


図-11 棒状バイブレータ施工箇所(杭径 3.0m)

である。ベントナイト泥水を充てんさせたケー
スの結果に偏りがあるものの、これらの結果か
ら概ね片側 0.4m の範囲まではバイブレータの
効果があるものと推定できる。また、図-9は
フレキバイブレータにおける施工後の試験結果
を示したものであり、概ね片側 0.5m の範囲ま
では効果があると推定できる。

今回の試験は、角形の型枠を用いて試験を行
ったため、杭のような円形の場合の有効範囲を
図-10のように考えると棒状バイブレータで
は半径 0.53m、フレキバイブレータでは半径
0.61m の範囲まで効果があると考えられる。以
上より、杭径 $\phi 3.0\text{m}$ の場合、主鉄筋から内側
に 200mm の位置で施工すると考えると、図-
11に示すように棒状バイブレータは 12箇所、
フレキバイブレータは 10箇所で締め固めを行う
ことで杭全周にわたって充てん効果が得られる
ものと考えられる。

4. 実大模型試験

4.1 試験概要

実施工のコンクリート打設を想定して、円形
型枠 ($\phi 3.0\text{m}$, 高さ=3.0m) 内にベントナイト
泥水 (比重 1.05, 濃度 9%) を満たし、コンク
リートを打設してバイブレータの効果を確認し
た。鉄筋は図-12、写真-6に示すような基礎
杭を想定した配筋とし、鉄筋かごを接続する機
械式継手を模擬した箇所を設けた。主鉄筋の純

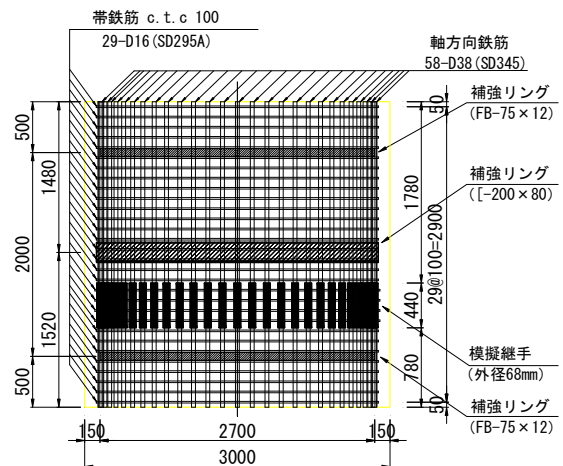


図-12 試験体配筋図

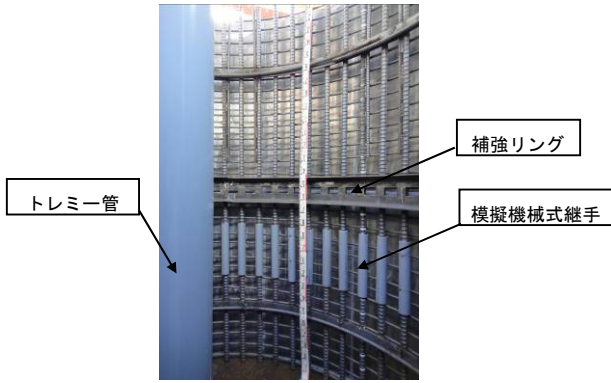


写真-6 試験体配筋状況

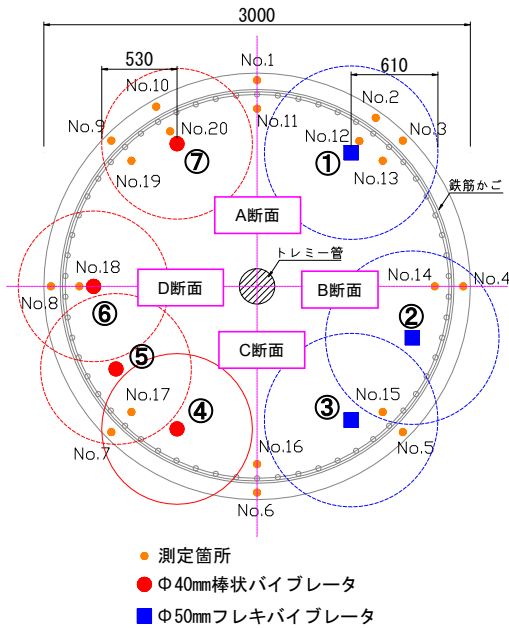


図-13 バイブレータ施工及び計測位置

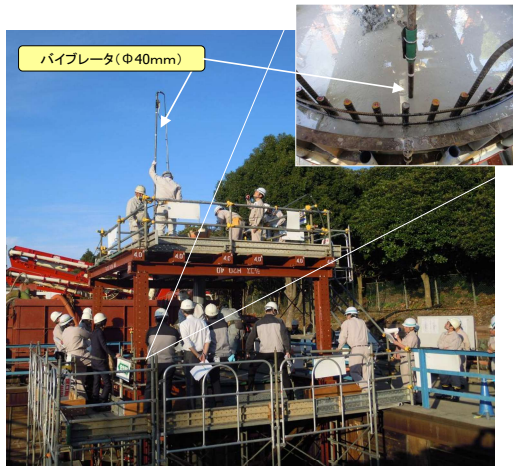


写真-7 バイブレータ施工状況

あきは横 108mm×縦 84mm であり、模擬機械式継手の純あきは横 78mm×縦 84mm とした。コンクリートは、かぶり部への充てん不良を模擬するため、スランプ 18cm 程度 (16.5~18.0cm,

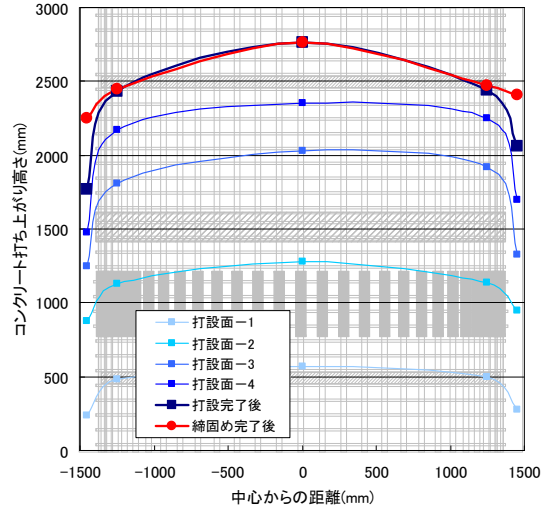


図-14 コンクリート面高さ (B-D断面)

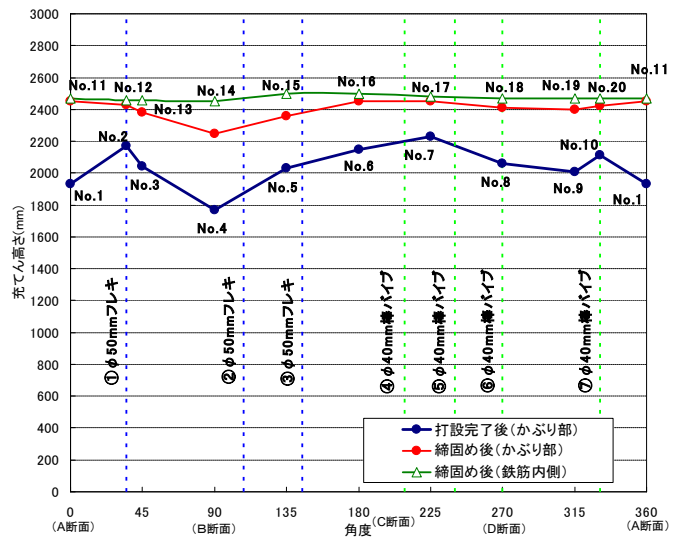


図-15 コンクリート打設面分布図

配合設計のスランプ 18 ± 2.5 cm) のものを用いた。

4.2 試験結果

バイブレータの施工は、有効範囲確認試験の結果を基に図-13 の位置において棒状バイブレータおよびフレキバイブレータを用いて行った。締固め方法は、バイブレータをコンクリート底面まで挿入した後に引上げながら 0.5m 毎に 15 秒間振動させた。また、コンクリート打設中は A~D 断面において、鉄筋の外側 (かぶり部), 内側および試験体中央部でコンクリート表面の打設高さを測定した。コンクリート打設後およびバイブレータ施工後は、No.1~20 に

においてコンクリート表面高さを測定した。写真-7にバイブレータ施工状況を示す。

図-14はコンクリート打設中のB-D断面におけるコンクリート表面の高さを示したものである。模擬機械式継手を設けた位置（底面から1m付近）から、かぶり部と鉄筋内側において高低差が大きく出始め、打設終了時には0.4m～0.6m程度の段差が生じた。

図-15はコンクリート打設後とバイブレータ施工後のかぶり部および鉄筋内側におけるコンクリート表面の高さ分布を示したものである。打設後のかぶり部におけるコンクリート高さは一様ではないが、バイブレータをかけることで全体的に200mm～400mm程度上昇した。バイブレータ施工後は、鉄筋の内外で同程度のコンクリート高さとなっていることから、かぶり部の充てん不良はバイブレータによる締固めにより解消されるといえる。

写真-8は脱型後の試験体外観の状況を示したものである。かぶり部のコンクリートの一部に脆弱箇所が認められるが、明らかな充てん不良箇所は生じないことが確認された。

試験体の圧縮強度を確認するために、A-C、B-D断面で試験体を切断（図-16：D断面の状況）し、図-16に示す位置でコアを採取して圧縮強度試験を行うとともにシュミットハンマーによる測定を実施した。図-17は、A～D断面における深度毎の圧縮強度をまとめたものである。なお、シュミットハンマーによる測定結果は「シュミット」と記載している。今回の試験による圧縮強度は、鉄道構造物等設計標準・同

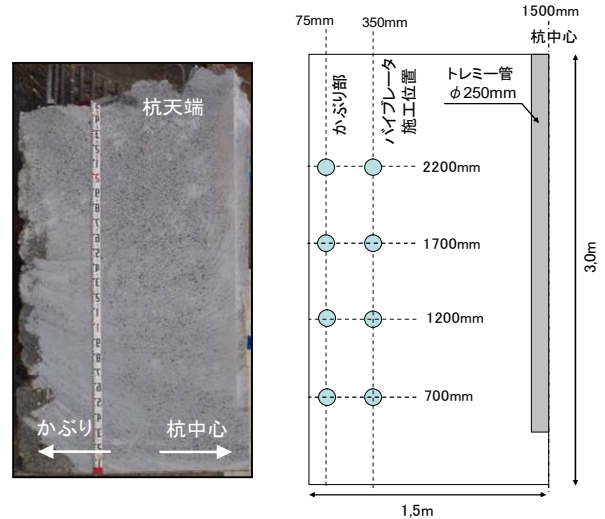


図-16 試験体切断面（D断面）及びコア採取・シュミットハンマー測定位置

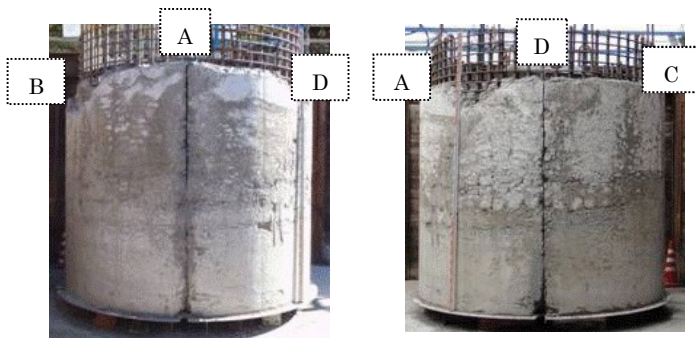
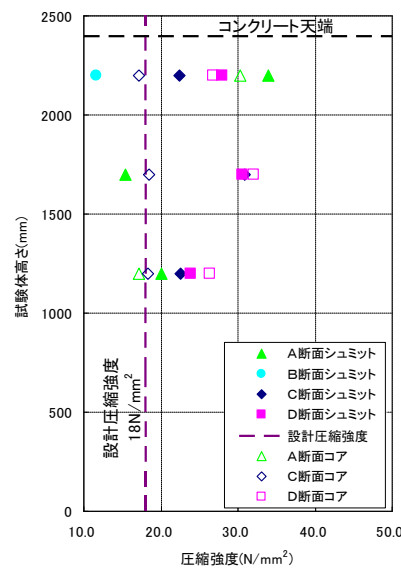
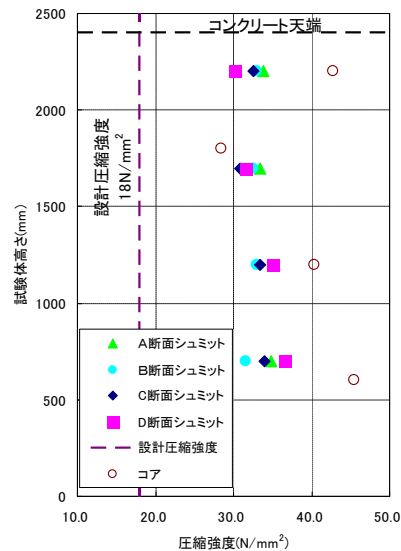


写真-8 試験体外観状況

図-17 シュミットハンマー・圧縮強度試験結果

解説の基礎構造物に示される圧縮強度の低減係数 0.6 (ベントナイト泥水の場合) を考慮した場合、 18N/mm^2 以上が必要となる。

バイブレータ施工位置では、いずれも所要の値を満足できた。かぶり部については、D 断面では 18N/mm^2 を満足できていたが A, B, C 断面では一部に下回るものがあった。A, C 断面については、要素試験で定めたバイブレータの有効範囲外であるため、締固めの効果が小さく、強度が低くなったものと考えられる。また B 断面については、施工中にフレキバイブレータが傾斜するというトラブルがあり、適切な締固めができなかったことが影響したものと考えられる。

以上より、コンクリート打設後にバイブレータをかけることにより、かぶり部にコンクリートが充てんされるとともに、バイブレータの有効範囲内のコンクリートは概ね所要のコンクリート強度を満足することが確認できた。

5. 実施工例

基礎杭工事において、棒状バイブレータを用いて杭頭部の締固めを行った。写真-9 は杭頭部が GL よりも深い位置の場合における施工状況を示すものである。当該現場では、2 本のバイブレータを用いて 12 箇所を締固めを約 25 分間で実施できることを確認した。



写真-9 実施工例

6. まとめ

本試験および実施工により、以下の事項が確認された。

- (1) 泥水巻込み確認試験により、コンクリート打設後にバイブレータを施工しても、コンクリート内への泥水の巻込みはないことを確認した。
- (2) バイブレータの有効範囲確認試験により、棒状バイブレータを用いた場合の有効範囲は 0.53m 程度、フレキバイブレータを用いた場合の有効範囲は 0.61m 程度であることが確認された。
- (3) 実大模型試験より、杭径 $\phi 3.0\text{m}$ の基礎杭において、バイブレータを主鉄筋から内側に 200mm の位置で施工する場合、棒状バイブレータは 12 箇所、フレキバイブレータは 10 箇所施工すれば杭全周にわたってかぶり部における充てん効果が得られることを確認した。
- (4) 実施工においては、杭径 $\phi 3.0\text{m}$ に対して棒状バイブレータを用いて 12 箇所の締固めを約 25 分間で行うことが可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 西脇敬一, 關豊, 大塚隆人, 松岡茂: 大口径場所打ち杭の打設時間短縮方法に関する実大打設実験, 土木学会第 66 回年次講演会, 土木学会, 2011
- 2) 池本宏文, 鈴木啓晋, 柳博文, 山内真也: 大口径場所打ち杭における杭頭部コンクリートの締固めに関する基礎試験, 土木学会第 67 回年次講演会, 土木学会, 2012
- 3) 山内真也, 柳博文, 鈴木啓晋, 池本宏文: 大口径場所打ち杭における杭頭部コンクリートの締固めに関する大型試験, 土木学会第 67 回年次講演会, 土木学会, 2012
- 4) 池本宏文, 鈴木啓晋, 柳博文, 山内真也: 大口径場所打ち杭における杭頭部コンクリートの締固め, SED No.40, 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター, 2012