

# モジュール構造物杭基礎技術の開発

## Piled Foundations for Module Structures

土屋 宏信, 齋藤 雄也, 佐藤 吉孝  
Hironobu Tsuchiya, Yuya Saito, Yoshitaka Sato

エンジニアリング本部 シビル建築部  
Civil & Building Department, Engineering Division

### 要旨

イクシス PJ では、ブーミングによるオーストラリアの労働者不足、建設予定地および現地の天候条件等を考慮し、モジュール工法が採用された。モジュール構造物に最適な基礎とは？というディスカッションから始まり、設計・施工に掛かる要求事項を洗い出し、検討を重ねた結果、モジュール構造物基礎技術としてスタブジョイント工法を開発した。本稿ではその開発から現場施工に至るまでを記述する。

### Abstract:

Recently, the application of Module structures has increased. For module structures, which are stiff structures due to their welded connections, a flexible foundation system is required to absorb fabrication and installation tolerances. To achieve that, we developed and applied steel piled foundations which can support module structures directly without concrete footings, called Stab Joint. Stab Joint is based on the Sat-in Pile Method which has been developed in Japan by Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation.

We report on the details and applications for Stab Joint.

### 1. 開発への道のり

#### 1. 1 モジュール構造物の概要

イクシス PJ はオーストラリアの最北端の町ダーウィンに LNG プラントを建設する PJ で、オーストラリアの労働者不足や現地天候等の条件を考慮し、モジュール工法が採用された。すなわち、配管等を支持するパイプラックや主要プロセス機器を支持する機器ストラクチャーを労務費の安い中国およびタイにて製作し、建設地へ輸送、据え付けする工法である。Fig.1 にモジュール構造物の一例を示す。モジュール構造物重量は大きいもので5000トン以上にもなる。モジュール構造物は海上輸送中の揺動に耐えるべく、溶接接合からなる剛性の高い構造が必要とされる。

#### 1. 2 モジュール構造物に最適な基礎とは？

設計、施工の両面について議論を重ねた結果、以下の要求事項が挙げられた。

- 1) 剛性の高いモジュール構造では、気温変化による鉄骨伸縮が拘束されることにより、基礎へ大きな熱荷重が生じる。このため、基礎にはフレキシビリティが必要である。

- 2) 20本以上からなる柱脚を同時に基礎へ据え付ける計画であるため、モジュール構造物自体の製作誤差や据付け時の施工誤差を基礎で吸収する必要がある。
- 3) 現場条件を考慮し、天候の影響を受けず、労務の少ない工法が望ましい。

以上の条件を満たす工法を検討した結果、変形性に富む鋼管杭でモジュール構造物を直接支持する基礎が最適という結論に至った。



**Fig.1 Module Structure (Equipment Module)**

### 1. 3 スタブジョイント工法の開発

鋼管杭による直接支持をキーワードに既存技術の調査を行ったところ、国内建築分野にサットインパイル工法（新日鐵住金株式会社）が見つかった。同工法は上部構造物の柱脚を直接鋼管杭基礎に挿入し、コンクリート充填により固定する工法で、日本国内の中小の建築分野にし適用実績が無い。モジュール構造物基礎へ採用すべく以下の課題解決を実践した。

- 1) スティールソケットを介した構造（スタブジョイント：Fig.2 参照）とすることで、モジュール構造物の製作進捗に伴い変化する柱脚の実際の位置情報を施工に取り込むことを可能とした。これにより、モジュール構造物製作ヤードからの情報に基づき基礎水平方向及び鉛直方向の位置を調整することができる。また、モジュール構造物との取り合い位置を高くすることで、鉛直方向の可動範囲が限られた SPMT (Self-Propelled Modular Transport) での据え付けを可能とした。
- 2) モジュール構造物の荷重はスティールソケットを介して中詰コンクリートへ、中詰コンクリートと鋼管杭内壁の付着力によって鋼管杭へと伝達する構造となっている。荷重伝達メカニズムは、実験や FEM 解析を通じて確立した。  
また困難であったのは引抜き荷重の伝達である。新日鐵住金株式会社の保有技術である鋼管杭内壁のリブ(凹凸)により中詰コンクリートとの付着力を実現している。この付着力を高

めるためには、コンクリートではなく、無収縮グラウトによる充填が不可欠とされた。なお、スチールソケットは原則モジュール構造物の柱サイズと同サイズとしているため、それを挿入する鋼管杭サイズは結果的に直径 900~1500mm となった。

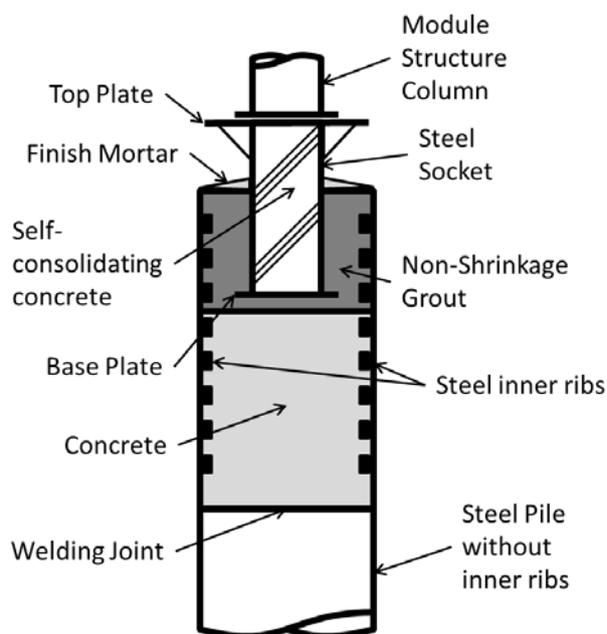


Fig.2 Stab Joint

## 2. 現場施工

### 2. 1 施工状況

スタブジョイントは鋼管杭と、中詰のコンクリート/ノンシュリンクグラウト及びモジュール構造物の柱脚を支持するスチールソケットからなる構造である。施工は以下のステップで行う。**Fig.3~6** に施工中及び施工後の様子を示す。

- (1) 鋼管杭の打設 (**Fig.3**)
- (2) 中詰コンクリートの打設
- (3) スチールソケットの据え付け(**Fig.4**)
- (4) スチールソケット内コンクリート打設
- (5) ノンシュリンクグラウトの打設(**Fig.5**)
- (6) 仕上げモルタルの打設(**Fig.6**)
- (7) モジュールの据え付け

フーチングを無くすことによる現場基礎工事に関わる作業（掘削、鉄筋、型枠工事など）の低減により、現地の長い雨期や労務不足にも関わらず、スケジュール通りに基礎工事を終えることが出来た。



**Fig.3 Pile Driving**



**Fig.4 Setting of Steel Socket**



**Fig.5 Pouring of Non-Shrink Grout**



**Fig.6 Finishing Mortar**

## 2. 2 モジュール構造物製作情報の取り込み

1. 3で述べたように、スタブジョイント工法の特徴のひとつとして、モジュール構造物の製作情報を取り込み、スタブジョイントによって基礎位置の調整が可能となることが挙げられる。スタブジョイントにかかる工事期間を考慮すると、モジュール構造物製作完了以前の情報で基礎の位置を決定し、据え付けに備える必要がある。製作ヤードと据え付け現場との間で測量情報を共有する Global Dimension Control と呼ぶ方法により、モジュール構造物輸送前の測量情報をもとに現場のスタブジョイント位置を決定した。

## 2. 3 現場からのフィードバック

### (1) 管内リブ不足

イクシス PJ では、基礎の鋼管杭にリブ付鋼管とリブなし鋼管を溶接にて接合した鋼管を採用し、材料コストの削減をしていた。しかし、想定していた支持地盤の深度のバラつきから鋼管杭の高止まりが発生し、鋼管杭の上部を切断する必要が生じた。このため、スタブジョイントに必要なリブ部分が不足するという事態が発生した。これには、リブなし部分の付着力の評価方法を確立し、考慮することで対応したが、中詰コンクリートボリュームの増加が必要となった。コンクリート増加によるコストとリブ付鋼管とリブなし鋼管のコスト差を考慮すると、全長リブ付鋼管の適用が対策となる。**Fig.7** にリブ詳細及びリブ付鋼管を示す。

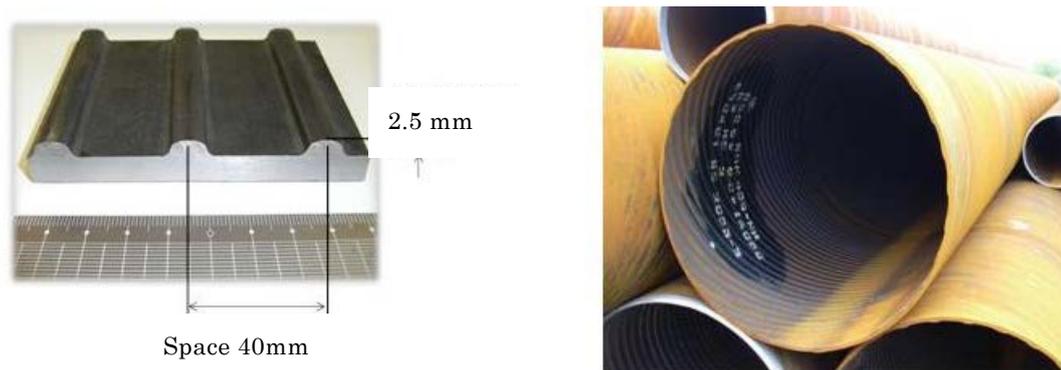


Fig.7 Steel Pile with inner Ribs

### (2) ノンシュリンクグラウトの製造

鋼管杭内部に充填するノンシュリンクグラウトは、1杭あたり 1~2m<sup>3</sup>、全体で 1500m<sup>3</sup>もの物量となった。労務費の問題もあり、一般的なプレミックス材料を小型ミキサで練り上げるのは現実的ではないと判断されたため、前例の無いバッチングプラントでのノンシュリンクグラウトの練り混ぜに挑戦した。バッチングプラントの攪拌能力は低く、当初はグラウトの材料分離や収縮が生じ、品質上の深刻な懸念が生じた。そこで、デンカ株式会社の特殊混和材を導入し、現地実証実験を通じてノンシュリンクグラウトの配合を完成させ、客先承認を得て施工を進めることが出来た。

### (3) シビルサブコンによる専用治具の製作

スタブジョイントの据え付け作業を正確かつ効率的に行うため **Fig.8** に示す専用の治具がシビルサブコンによって製作・適用された。本治具は鉄製で鋼管杭に吊り下げるタイプと地面に置いて使用する2タイプがあり、側面に設置したボルトにより、スチールソケット据え付け後の位置調整(水平及び鉛直位置)が簡単に行えるような仕組みとなっている。



Fig.8 Setting Jig for Steel Socket

3. おわりに

イクシス PJ では、現地の天候および労働者不足等の条件から鋼管杭基礎適用にコストの面からのメリットがあった。本工法は、こうした例の他に、地盤条件が悪く杭基礎が必要な場合や、多雨地域でコンクリート工事が困難な場合等に適用するメリットがある。

本工法の実績を実際のプロジェクトで得られたことは、今後増加するモジュールプロジェクトに対して適用可能なオプションとして大きな強みの一つとなるであろう。



**Fig.9 Big Pipe Rack Module Installation**