

# 東京スカイツリー®の超高層タワーを礎える節付き壁杭 ナックル・ウォール

横山 伴 師・荒川 真・平田 昌 美

東京都墨田区において、自立式電波塔として世界一の高さとなる超高層タワー「東京スカイツリー」が施工されている。他に類を見ない高さとなるタワーの構造形式を実現するために、最新技術の施工方法が盛り込まれている。本報告では、足元を礎える節付き壁杭（ナックル・ウォール）についての概要および施工法について報告する。

キーワード：東京スカイツリー，ナックル・ウォール，地中連続壁杭，OWS-SOLETANCHE 工法

## 1. はじめに

自立式電波塔として世界一の高さ 634 m となる超高層タワー「東京スカイツリー」（事業主体：東武鉄道株・東武タワースカイツリー株，設計・監理者：（株）日建設計，施工者：（株）大林組）は、東京都墨田区において建設中である。

本建物は、2008年7月に着工し、同年12月に基礎工事が完了、その後、地下から地上へと躯体工事が急ピッチで進められ、2011年の3月に上棟を終え、同年末の竣工に向け着々と工事が進んでいる。

建設地は、事業主体である東武鉄道の業平橋駅構内「押上・業平橋駅周辺地区」。以前は鉄道貨物ヤードとして使用されていた場所である。敷地の北側には東武伊勢崎線、東側には東京メトロ半蔵門線、京成押上線、都営地下鉄浅草線の押上駅があり、都営地下鉄浅草線が地下で敷地を斜めに横断する。また、敷地面積は約 37,000 m<sup>2</sup>（約 100 m × 400 m）の細長い形状であり、外周は東武伊勢崎線と北十間川に挟まれているなど、超高層タワー建設としては難しい条件下の場所に計画されている（図-1）。

施設配置は三つの区域に分割され、商業店舗に供される西街区、敷地の中央に配置されるタワー街区、及び商業店舗とオフィスに供される東街区に分けられている（図-2）。

## 2. 敷地の地盤概要

タワーの建設地は東京の東側、隅田川と荒川に囲まれた沖積平野の東京低地に位置している。地盤構成は



図-1 敷地計画

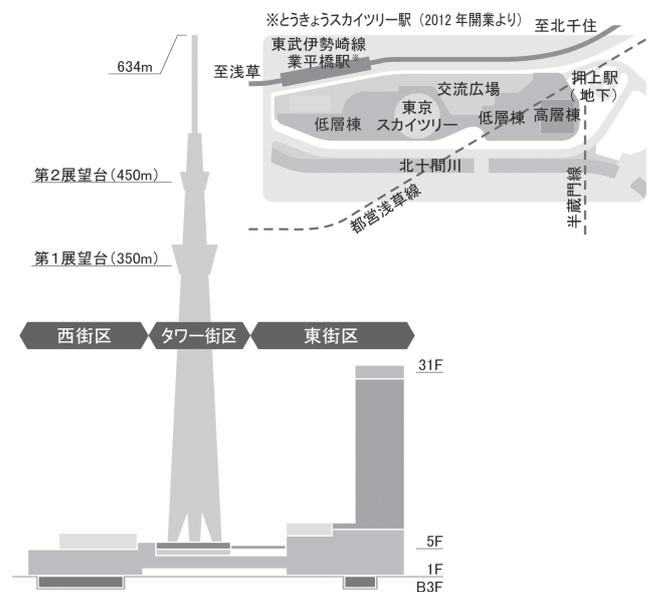


図-2 配置概要

下位より順に上総層群、東京礫層・東京層・埋没段丘礫層・埋没ローム層、さらに地表近くは沖積層の有楽町層で構成されている。杭の支持層となる洪積層の東京礫層の上に有楽町層が層厚 25 m ~ 30 m 程度堆積しており、その上部は主として厚さ 5 m 程度の緩い砂質土層、下部は軟らかい粘性土の地盤構成となっている (図-3)。

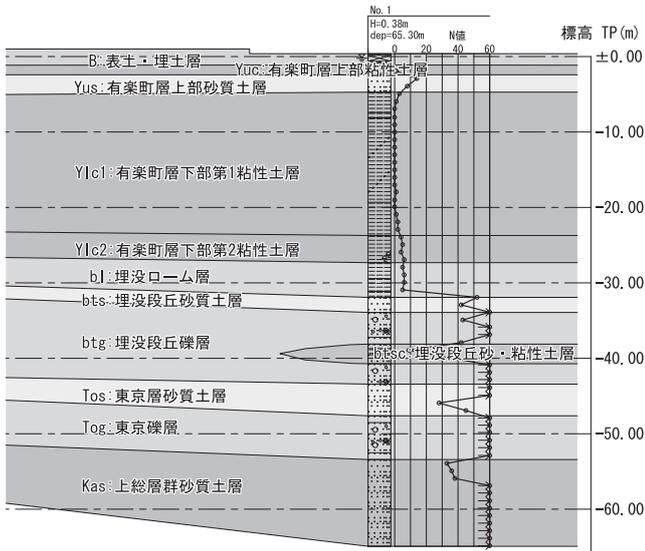


図-3 地質断面推定図

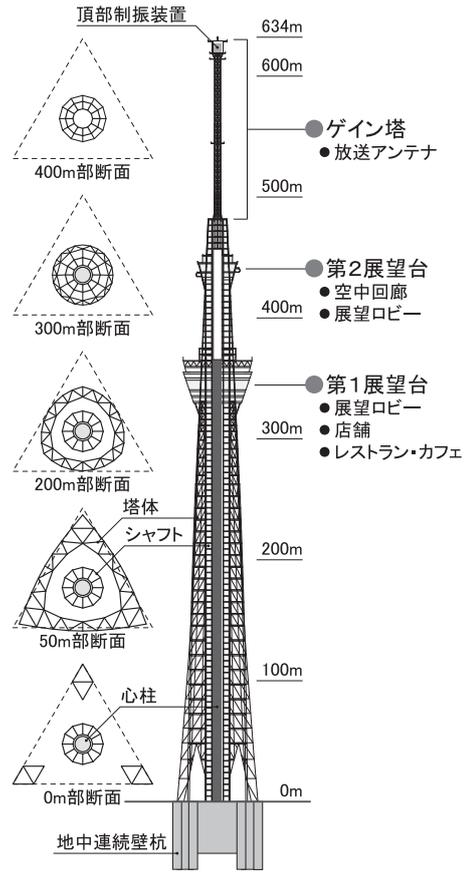


図-4 全体計画概要

### 3. 東京スカイツリー®の全体計画

タワーの構造形式は、地震力に対する揺れの特性が異なる鉄骨トラスの塔体と鉄筋コンクリート造の心柱を「制振ダンパー」によって繋ぐことで全体の揺れを抑える「心柱制振」を導入したハイブリッド構造として設計されている。

また平面形状は、基礎から上部に向かって正三角形から正円へと連続的に変化する形状となっており、上部に向かって平面形が徐々に丸みを帯び、高さ約 300 m で正円となる。

また、基礎平面形状は正三角形一辺が約 70 m であり、それに対して高さが 634 m と搭状比が 9.3 となる。国内で最も高い構造物である「東京タワー」の足元幅 95 m、高さ 333 m の搭状比 3.5 に対して、形状として不安定であるのに加えて振幅周期が長く揺れやすいということになり転倒防止と振動制御に工夫が不可欠となる。

このため、「鼎 (かなえ)」と呼ばれる基礎部の正三角形各頂点には、タワーを支える柱が配置されており、その直下には、引抜き・押込みに抵抗させる目的で地中約 50 m まで埋められた節付き壁杭「ナックルウォール」が配置されている。正三角形をなす三本の

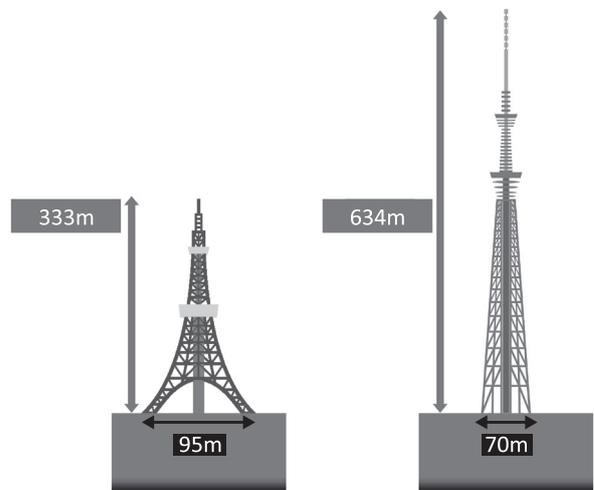


図-5 東京タワーと東京スカイツリーの塔状比比較

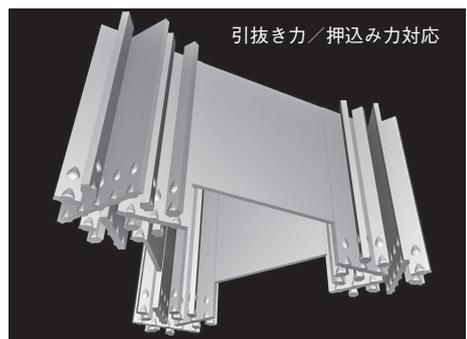


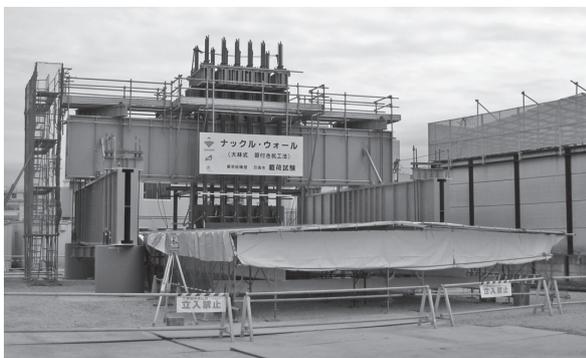
図-6 東京スカイツリー基礎概念図

タワー脚部の足元を繋ぐように地中連続壁杭を配置することで、杭基礎全体で東京低地の軟らかい粘性土地盤による地震の増幅を抑えるとともに、強風時や地震時に作用する力を確実に堅固な地盤に伝えることが可能な設計となっている。

#### 4. 節付き壁杭「ナックル・ウォール」の概要

ナックル・ウォールとは、鉄筋コンクリート造（本工事では鉄骨鉄筋コンクリート造）の地中連続壁杭の側面にコブ状の節を付けることで、支持地盤への引抜き・押し込み抵抗力を持たせることができ、効率的な設計が可能となる杭である。当初タワーの基礎設計初期段階では、大きな引抜き抵抗力を確保する手段として「カウンターウエイト方式」などが検討されていた。しかし、敷地の狭さや鉄道近接などの施工上の問題の解決、また、設計の合理性、工期・コストの面などから、優位性のあるナックル・ウォールが採用された。

また、基礎の設計をより確かなものにするために、原位置での実物実大による40,000 kNの引抜き試験を行い、杭全体の引抜き抵抗力を確認している。ナックル・ウォールの節部の引抜きおよび押し込み抵抗力の確認も同時に行い、良好な結果を得ている（写真—1）。



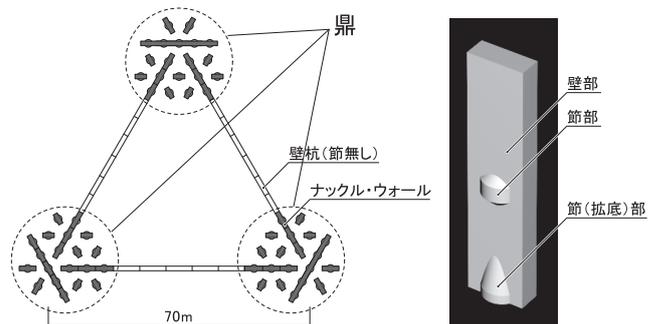
写真—1 実物実大載荷試験状況

#### 5. 東京スカイツリー®における地中連続壁杭工事

ナックル・ウォールは、現在500万 $m^2$ の実績を有する地中連続壁工法のOWS-SOLETANCHE(オウス・ソレタンシュ)工法で施工されている。

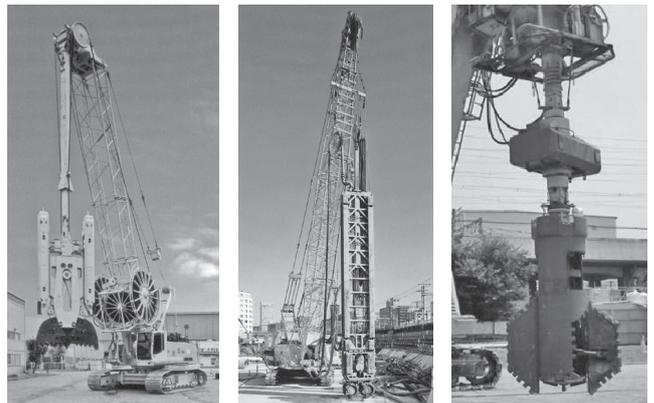
壁厚1.2m、深度GL-35m～52m。杭先端をGL-30m付近の固い頑丈な地盤（支持層）に支持させた設計で、一辺が約70mの正三角形のそれぞれの頂点に放射状に杭が配置された平面形状になっている。三本柱の足元には、60パネル相当の杭が配置されてお

り、それを結ぶように連続的な地中連続壁杭が配置され、総数77パネルで構成されている（図—7）。



図—7 東京スカイツリー基礎杭伏図

地中連続壁杭工事の掘削は、当社の保有のバケット式掘削機である「スーパーケリー掘削機」、水平多軸式掘削機である「ハイドロフレイズ掘削機」および節部施工専用の「節専用掘削機」により施工している（写真—2）。



写真—2 地中連続壁杭工事専用掘削機

上部の東京低地の軟らかい粘性土地盤は、スーパーケリー掘削機にて掘削し、その下部の固い頑丈な地盤はハイドロフレイズ掘削機にて掘削している。掘削は、溝壁崩落を防止するため安定液を満たした状態で行い、その後節部専用掘削機により所定の深度の壁面を掘削してコブ状の節を設けている。

また、掘削作業と並行して敷地内の鉄筋籠組立台にて全長約40mの鉄筋籠の組立を行っており、特に三本脚部の足元の鉄筋籠は鉄骨を内蔵したSRC地中壁体となる鉄筋籠である（写真—3）。

杭天端は、地上鉄骨と確実に一体化するため作業路盤より約10m下がった位置となり、精度確保の目的でSRC鉄筋籠上部に鉄筋籠高精度建込み治具（写真—4）を取り付け、難易度の高い施工を行っている。

さらに、鼎部および各鼎を繋ぐ地中連続壁杭には、地震時の水平力を伝達させるためにパネル間を繋げる



写真-3 SRC 鉄筋籠



写真-4 高精度建込み治具



写真-5 CWS ジョイント工法施工状況および波形鋼板

必要がある。地中連続壁杭の構造ジョイントは施工エリア・施工時間に大きく影響するため、効率的にかつ簡易に地中連続壁杭の水平せん断力を伝達できる「CWS ジョイント工法」にて結合している(写真-5)。ジョイント部に配置された波形鋼板が壁間接合部での面内剛性を高めるとともに、十分な止水性を発揮する。CWS ジョイントおよび鉄筋籠の建込み後、トレミー管によるコンクリート打設を行い、1パネルの施工が完了する。この作業を繰り返し行うことで地中連続壁杭工事が完了する(図-8)。



写真-6 地中連続壁杭工事状況

地中連続壁杭工事完了後は、各頂点の鼎エリア部を

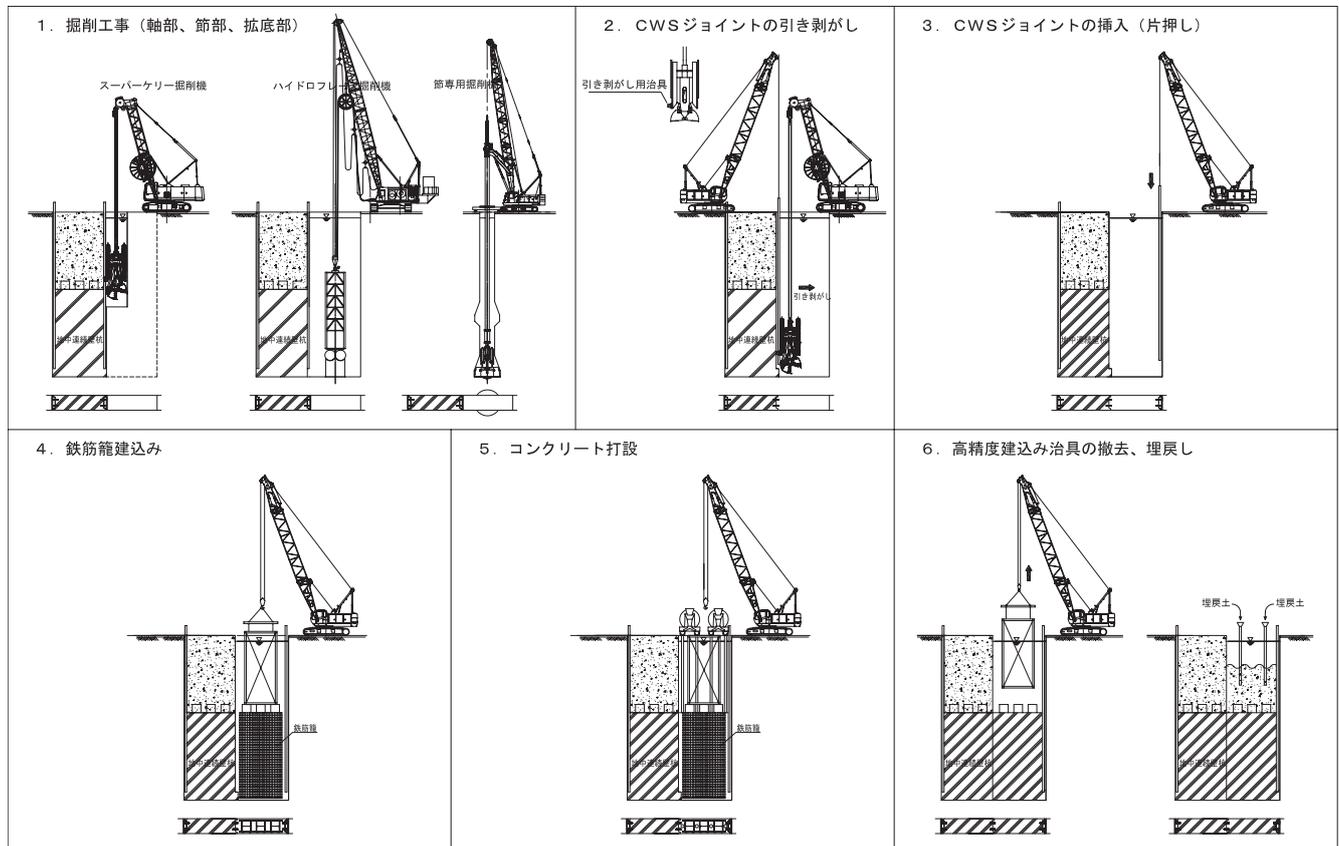
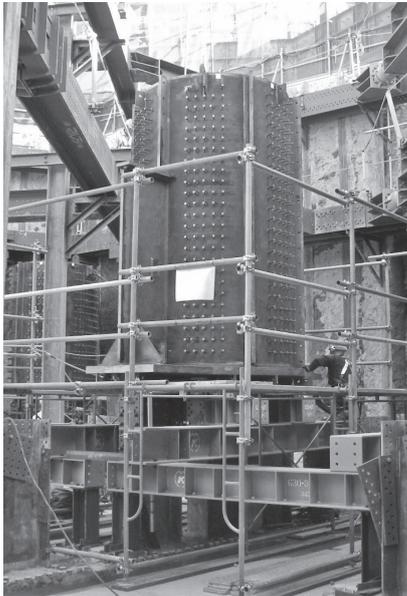
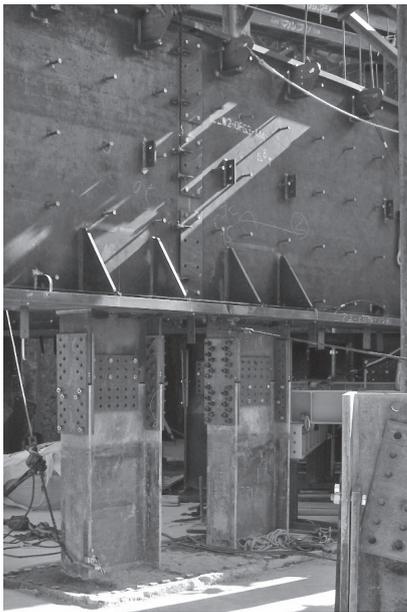


図-8 地中連続壁杭工事施工手順

約10m底部まで掘削し、地中連続壁杭に内蔵されているH形鋼と本体を支える柱の鉄骨を繋ぎ、タワー直下の引抜き・押込みに抵抗させている。



写真一七 鼎部柱接合状況



写真一八 鼎部基礎梁接合状況

## 6. 今後の展望

当社の保有技術である OWS-SOLETANCHE 工法のナックル・ウォールをはじめ、SRC 地中壁体および CWS ジョイント工法などの技術を集結することで、比類ない高さの「東京スカイツリー®」を永久的に支える礎を築くことができたと考えている。

今後、更なる技術の開発を積極的に進め、より高度な技術に挑戦していく。

JICMA

### 《参考文献》

- 1) 慶伊・小西・加賀美・渡辺・小西・江坂 (㈱日建設計): 東京スカイツリーの構造概要, 日本構造協会機関誌 71, pp.12-17, 2009.
- 2) 小西 (㈱日建設計): 各論 場所打ちコンクリート拡底杭による基礎設計と課題, 基礎工, pp.16-18, 2009.
- 3) 須藤・渡邊・横山・鈴木(剛)・鈴木(直)・関他 (㈱大林組): 超高層タワーを支持する節付き壁杭の引抜き試験および押込み試験 (その1~6), 日本建築学会大会, 2009.
- 4) 須藤・清・関他 (㈱大林組): 場所打ち節付き杭の鉛直交番荷試験 (その1~3), 日本建築学会大会, pp.579-584, 2005.
- 5) 横山・鈴木・伊東 (㈱大林組): 新しい東京のシンボル・東京スカイツリーを支える連続地中壁杭, セメント・コンクリート 752, pp.9-13, 2009.

### 【筆者紹介】



横山 伴師 (よこやま ともし)  
 ㈱大林組  
 建築本部 特殊工法部  
 担当課長



荒川 真 (あらかわ まこと)  
 ㈱大林組  
 建築本部 特殊工法部  
 副課長



平田 昌美 (ひらた まさみ)  
 ㈱大林組  
 建築本部 特殊工法部  
 担当課長