

稼働中の工場基礎の補強工事 (その1 : 3次元 FEM による基礎補強設計)

新日本製鐵株式会社 正会員 ○花田 賢師 大出 哲也
 清水建設株式会社 正会員 荒木 尚幸 川原井 裕子

1. はじめに

新日本製鐵(株)君津製鐵所の厚板工場の仕上圧延機基礎の改修工事を実施した。基礎改修にあたっては、生産の影響を最小限とするため、基礎下を掘削しアンダーピニングを行い、鋼管杭の圧入による増打ちと底版基礎コンクリートの補強ならびに仕上圧延機のアンカーボルトの交換を実施した。既設基礎底面は GL-6.8m であり、新設鋼管杭の増打ち、底版補強コンクリートの構造概要を図-1 に示す。

本工事の設計面での課題は、本基礎が築造 40 年を経過していることから、アンダーピニングに伴う既設基礎の安全性評価と将来の機械荷重増加に対応できる最適な補強方法(杭、コンクリートの仕様)の立案であった。

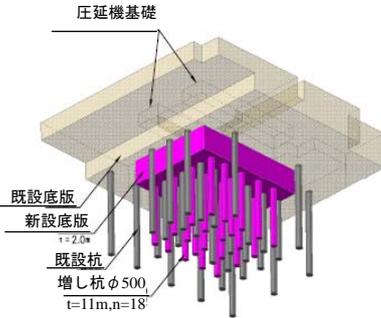


図-1 基礎補強構造

そこで、上記課題に対して3次元 FEM 解析による設計を行ったので、以下にその概要を述べる。

2. 既設基礎の安全性検討

2.1 検討方法

既設基礎は揚圧力を期待した設計で、かつ部材厚が厚く鉄筋量が少ない構造であった。基礎形状が極めて複雑であることから、一般的な梁モデルでは構造の特徴を踏まえたモデル化が困難であった。そこで基礎形状と杭配置を正確にモデル化できる3次元 FEM 解析を行った。

基礎は連続構造であるが、補強部分を抽出しモデル化した。解析端部の境界条件は自由境界と鏡面境界の2種類とし、基礎底版はソリッド要素で、また既設杭は梁要素、地盤は杭に設置されるバネ要素としてモデル化した。さらに杭頭部からの力の伝達を正確に評価するため、基礎底版の接続部は杭の実際形状を剛体としてモデル化し、ソリッド要素に接続した(図-2)。

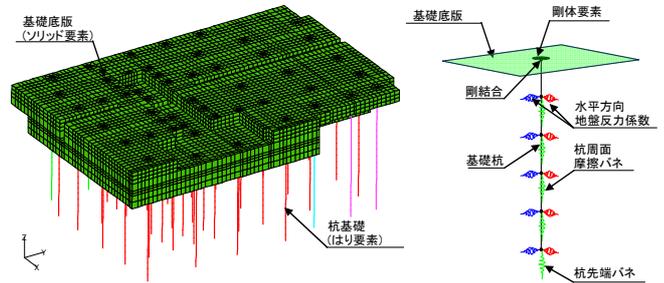


図-2 解析モデル(既設基礎)

荷重は、設備荷重、死荷重、揚圧力を考慮した。荷重条件を表-1 に示す。

表-1 荷重条件

荷重の種類	荷重条件
底版自重	部材厚に単位体積重量 $\gamma_c=24.5$ (kN/m ³) を乗じて算出。
底版に作用する揚圧力	地下水位 (FL-3.950) 以下の基礎底版に対して揚圧力を考慮。施工時は揚圧力を考慮しない
設備荷重(本体)	自重 17,300(kN)、反力 70,000(kN) 操業中荷重として、自重 $\times 0.20$ を考慮
設備荷重(本体以外)	機械本体以外の設備荷重を考慮

2.2 検討結果

基礎の解析結果を図-3 に示す。当初設計では連続した基礎の中で圧延機直下の限定された範囲のみ強度部材として設計され、RC 構造物として必要な鉄筋が配置されていた。FEM 解析の結果、曲げモーメントは基礎底版の強度部材以外の範囲にも発生することが判明した。そこで鉄筋が配置されていない範囲では、コンクリートを全断面有効としたひび割れ抵抗曲げモーメントの照査を行い、その結果、RC 構造部、無筋コンクリートのいずれも安全であることが確認された。また、既設基礎杭もいずれも安全と評価されたため、基礎下の掘削は可能と判断した。

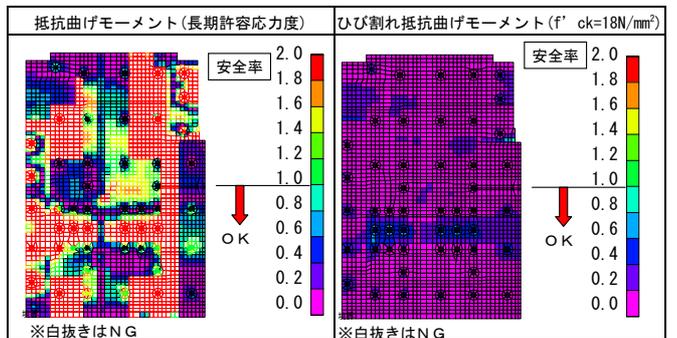


図-3 解析結果(鉛直荷重あり 自由境界 X軸回り 施工時)

キーワード 3次元 FEM 解析, アンダーピニング, 鋼管杭圧入

連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日本製鐵(株)設備・保全技術センター TEL 0439-80-2966

3. 最適な補強方法の立案

3. 1 検討方法

本工事では、アンダーピニングを行った既設基礎下で杭を増打ちするとともに既設底盤下に補強コンクリートを打設して一体化させる計画である。そのため既設杭や既設基礎に残留する応力を考慮して設計を行う必要があった。そこで補強後の完成形構造解析に加え、施工ステップを考慮した逐次解析を実施した。

構造解析は3次元 FEM によるものとし、基礎底版はシェル要素、杭は梁要素、地盤は杭にバネ要素を付加することでモデル化した。なお基礎底版にシェル要素を採用したのは、設計上の取り扱いを容易とするためであり、ソリッド要素による解析結果と比較し、適用の妥当性を検証した。既設底版と新設底版はそれぞれのシェルモデルを剛はりで繋いだ一体版構造として解析を行った。図-4 に解析全体モデル、図-5 に基礎杭モデル、図-6 に解析ステップ図を示す。解析の結果、逐次解析では新設杭に軸力がほとんど導入されない結果となったことから、新設杭にプレロード 500kN を導入して補強後の完成形構造解析の軸力と同程度となるようにした。

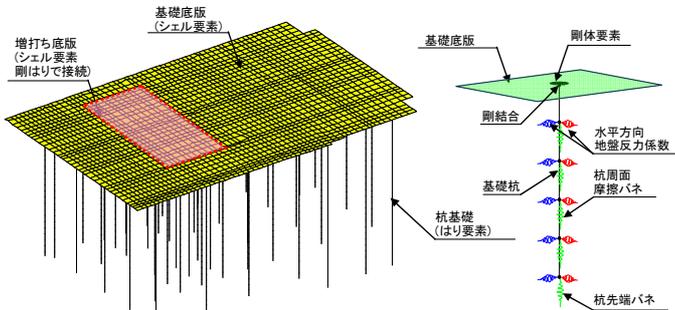


図-4 解析全体モデル

図-5 基礎杭モデル

3. 2 検討結果

上記検討の結果、基礎底版の補強構造は図-7 に示す仕様となった。このとき、新設する杭 (SKK φ500, t12, L=7.6m, 18本) は既設杭の間に圧延機のアンカーボルトを避けるように配置した。

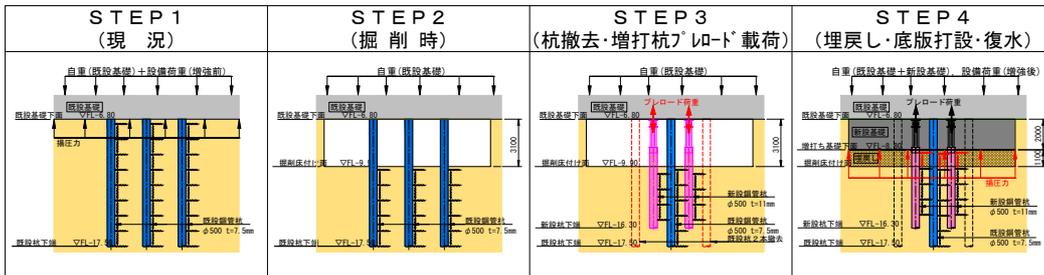


図-6 解析ステップ

また新設杭の固定と既設基礎の補強を兼ねて新設底版(8.1m×9.5m×厚さ 2.0m)を既設床版下に打設することとした。既設床版と新設床版は一体構造とし、接合面にははずれ止め鉄筋 (D32, L=580mm) を縦横 400mm 間隔で配置した。新設底版の下面には D25 を平均 250mm 間隔で配筋した。また基礎杭はプレロード荷重を既設底版に確実に伝達するため、杭頭に特殊金物と固定ジャッキを設置した。特殊金物は 4 本の柱構造とし、柱間に新設底版の鉄筋が配筋できる構造とした。図-8 に特殊金物を示す。

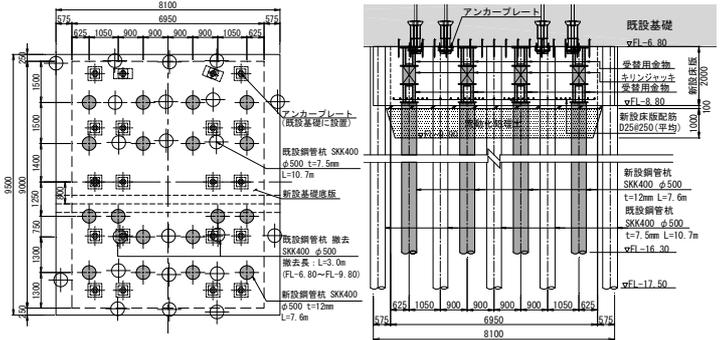


図-7 基礎補強構造

4. おわりに

本設計は、複雑な形状である基礎の構造解析に 3 次元 FEM 解析を適用し、施工時の基礎の安全性を検証したものである。さらに施工ステップを考慮した逐次解析を行い、既設構造物に残留する断面力と新設構造物が負担する断面力が適切に分担されるように、プレロード荷重を設定するとともにコンクリートの補強設計を実施した。

近年、3次元 FEM 解析を設計に採用する事例は増えているが、本報告で述べるように基礎形状が複雑でかつ基礎の残留応力が問題となる補強設計においても効果的であることを確認した。本報告が基礎の再生を行うような類似構造物の設計の参考となれば幸いである。

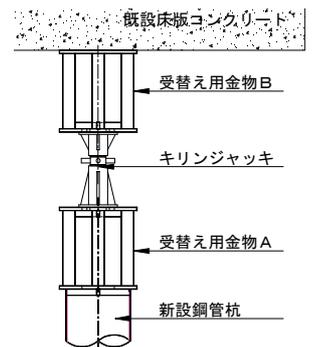


図-8 新設杭頭特殊金物