

アンダーピニングによる稼働中工場基礎の補強工事

新日本製鐵株式会社	正会員	清崎 弘二
新日本製鐵株式会社	正会員	花田 賢師
新日本製鐵株式会社	正会員	大出 哲也
清水建設株式会社	正会員	竹村 瑞元
清水建設株式会社	正会員	藤田 淳
清水建設株式会社	正会員	○島津 友輝

稼働後 40 年経過した製鐵所厚板工場の仕上圧延機（以下ミルと称す）の老朽化した基礎改修を目的として、補強工事を実施した。改修にあたっては、工場生産への影響を最小限とするため、基礎下を掘削してアンダーピニングを行い、鋼管杭増打ちと床版基礎コンクリートの補強ならびにミルのアンカーボルトの更新を実施した。本稿では豊富な地下水の遮断、狭隘な作業空間および限られた工期等の課題を克服した工事の施工方法を報告する。

1. はじめに

新日本製鐵株式会社君津製鐵所は昭和 36 年に建設が開始され、1,100ha の広大な用地を有する大規模な製鐵所である（図-1～2）。君津製鐵所には図-3 に示すような作業工程があり、その中の厚板工場の工程ではミルと呼ばれる圧延機を使用して圧延を行う。厚板工場は昭和 43 年に完成し、稼働してから 40 年以上が経過している。今回、稼働後 40 年以上の老朽化した基礎を更新することとなり、現状基礎の補強工事ならびに設備用アンカーボルトの更新工事を行った。工事实施にあたっては操業を最優先に考え、操業の休止期間を最短化する必要があった。

ミルを支持するミル本体基礎は、サイドガイド、テーブル、組換え装置、スルースおよび電気暗渠等の基礎と一体で構築され、300m 連続したコンクリート躯体となっている。基礎形式は杭基礎構造であり、鋼管杭(φ 500mm)にて支持されている。ミル本体は基礎レベル GL-4.0m、床版厚 2.8m であり、ミルを固定する設備用のアンカーボルト(φ 90mm、L=2.5m)が床版内に埋込まれている（図-4）。通常、大規模なはつりによる基礎補強ならびにボルト更新では、生産ラインを止めなければならず、半年～1 年にもおよぶ長期間の操業休止が必要となる。ミル基礎床版の下部から基礎補強ならびにボルト更新ができれば休止期間の最短化を図ることができる。



図-1 位置図



図-2 君津製鐵所全景

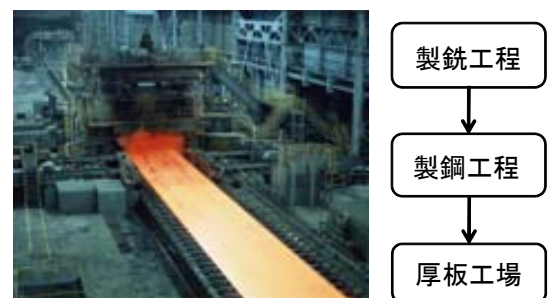


図-3 圧延機（ミル）および施工フロー

キーワード アンダーピニング、基礎補強、凍結工法、アンカーボルト更新、鋼管杭圧入

連絡先 〒260-0015 千葉県中央区富士見二丁目 11-1 TEL 043-227-8466

そこで、アンダーピニングによるミル基礎床版直下（以下ミル直下と称す）からの基礎補強の実現可能性を検討し、個別の工法、構造、工程さらには工事中の操業への影響について整理を行い、アンダーピニングによる基礎補強が十分に可能であるとの結論に至った。

本工事は厚板工場の定期休止期間（42日間）の中でミル基礎補強をするために、立坑および横坑からミル直下まで掘削し、アンカーボルトの更新、鋼管杭増打ちおよび新設床版による床版補強等で基礎を補強する工事である。

2. 仮設工事

(1) 概要

既設床版の下面高さは GL-6.8m であり、鋼管杭による杭基礎構造である。地下水位は GL-3.0m 程度にあり、海が近いため供給量は豊富である（図-5）。

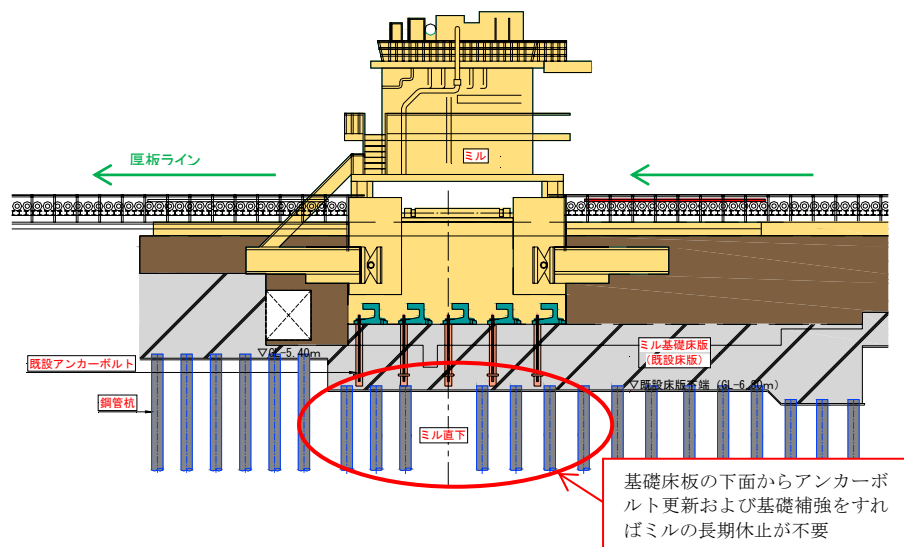


図-4 ミル基礎断面図

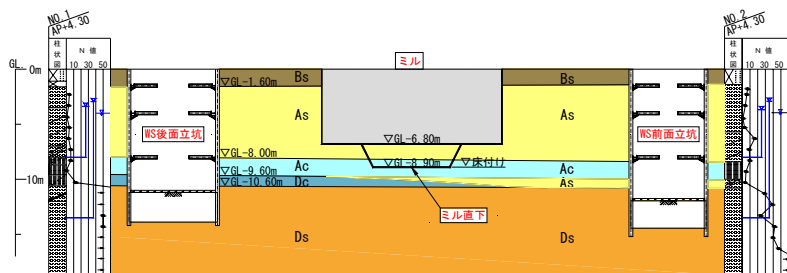


図-5 地質縦断面図

基礎補強をするには最深部で GL-10.1m まで掘削することになるため、図-6 に示す施工フローで施工した。

まず既設建屋内で立坑を3ヶ所施工し、そこからパイプルーフ工法で横坑を施工して既設躯体直下に入る（図-7）。地下水の遮水方法は、床付け以深の Ds 層（洪積砂層）はディープウェルによる地下水位低下工法を採用して盤ぶくれ対策とし、As 層（沖積砂層）は工場基礎沈下等の懸念があったことから地下水位低下工法を採用せず、地下水の遮断工法を採用した。躯体と地山の界面の地下水の遮断という課題を克服する必要がある、遮水の信頼性を考慮して凍結工法を採用した。

地下水の遮水が完了したら既設床版直下の導坑掘削を行い、ミル直下に達する通路を設置した。これらの仮設工事をミル直下の補強作業を行う定期休止期間の前までに実施した。

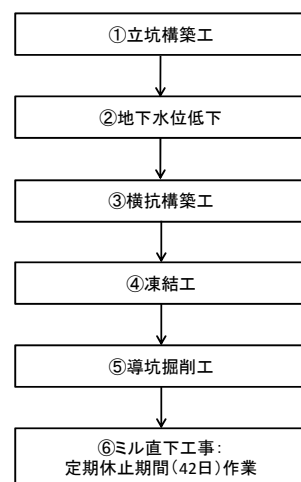


図-6 施工フロー

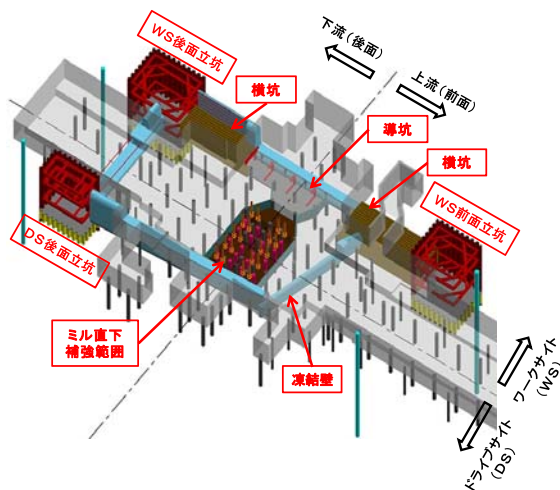


図-7 鳥瞰図

(2) 立坑構築工・被圧地下水位低下工

立坑位置を選定するにあたり、①既存施設の移設量を最小限にする、②工場基礎直下にできるだけ近くする、③後述する凍結管埋設のための水平削孔が可能な位置にする、等の条件を踏まえ、WS 後面、WS 前面、DS 後面の3箇所 に立坑を設置した (図-8～9)。

立坑土留め壁は工場建屋内の空頭制限がある中で施工しなければならないため、遮水性のある鋼矢板を圧入機 (サイレントパイラー) で圧入して施工した。立坑底部の止水および受働土圧の増強を目的とし、立坑の底盤に高圧噴射攪拌杭 (JEP 工法: $\phi 3.2\text{ m} \times 10\text{ 本}$) による地盤改良を行った。

被圧を持ったDs 層の地下水位が高い状態では、横坑掘削時の盤ぶくれやミル直下掘削時の底面からの

出水が発生する恐れがあったため、ディープウェル (以下DW)を4ヶ所設置して被圧地下水位を低下させた。ミル直下掘削時は、万一DW が故障した場合においても定期休止期間(42 日)で作業を終える必要があるため、3ヶ所のDW のみで地下水位が低下できるように余裕のある計画とした。

(3) 横坑構築工

WS 後面横坑は、ミル直下の基礎補強のための作業員の出入り・資材の搬出入が行われる。そのために必要な最小限の内空断面としてパイプルーフの設置位置を決定した。パイプルーフは最も小径の $\phi 318.5\text{ mm}$ の鋼管とし、推進機を使って設置した (写真-1)。WS 前面横坑はAs 層の遮水を行うための凍結管削孔を行う内空を確保した (図-10)。

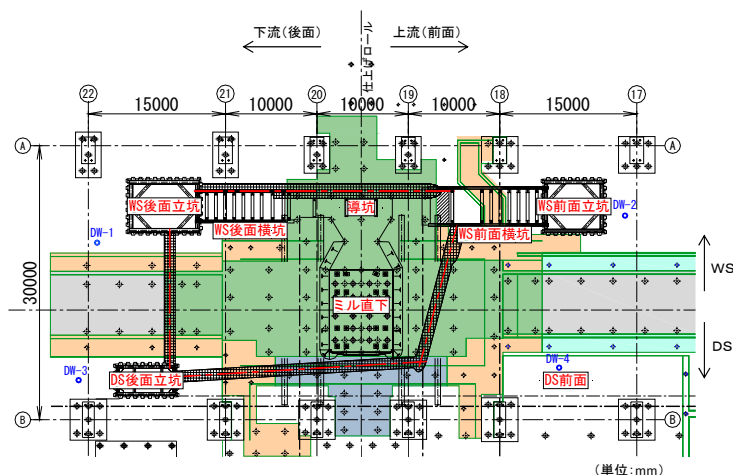


図-8 立坑平面図および各立坑の役割

	各立坑の役割
WS 前面立坑	横坑の構築 (躯体下への凍結管の水平削孔用)
WS 後面立坑	横坑・導坑の構築 (ミル直下補強工事用資機材搬入通路) 躯体下への凍結管の水平削孔
DS 後面立坑	躯体下への凍結管の水平削孔

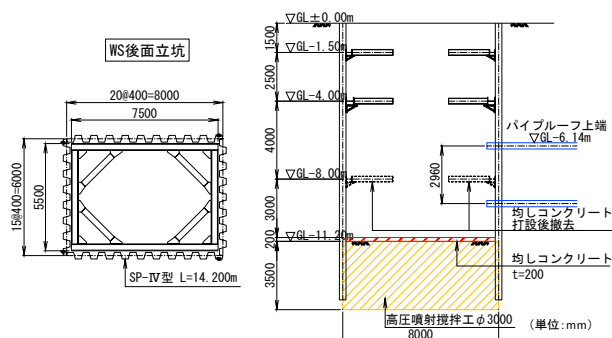


図-9 立坑計画図



写真-1 パイプルーフ施工状況

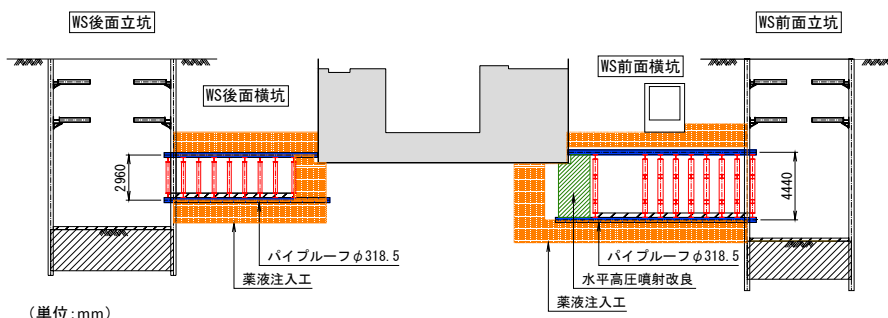


図-10 横坑計画縦断面図

パイプルーフは地下水が浸入すると施工できないため、薬液注入による止水を先行した。横坑の先端は既設躯体があるため根入れ長が取れず、横坑掘削時に先端の変位が大きくなる。そこで先端に水平高圧噴射攪拌改良を行い、先行地中梁として機能させることでパイプルーフが小径でも耐力が満足できるようにした（図-11）。

水平高圧噴射改良工法として単管グラウト工法を応用した施工方法を採用した。単管ロッドで水平に削孔する際に水噴射による先行切削（プレジェット）をステップダウン方式で行い、先端からステップアップ方式で硬化剤を噴射して改良体を造成した（図-12）。この方法は他現場で噴射圧および噴射量を設定して試験施工を実施し¹⁾²⁾、その結果を元に改良径φ900mmを決定した。

（4）躯体界面空隙充てん工

ミル基礎床版（杭基礎）は躯体界面に隙間があることが予測されており、計測の結果 300mm 以上の空隙がある箇所も観測された。ミル直下の遮水は信頼性の高い凍結壁を採用するが、空隙量が大きく凍結壁の造成も困難と判断されたため、アクアグラウトによる空隙充填を実施した。アクアグラウトは静止状態では粘性が高く加圧すると流動性を示す限定注入性と、水に対する材料分離抵抗性を持つ材料である。室内試験を行ってフロー値 225mm 程度を目標として配合を決定した（写真-2、表-1）。

2ヶ所の立坑から躯体界面に向かって水平ボーリングを行い、初期圧+0.2MPaの圧力になるまで充填を行った。最終的には50m³以上のアクアグラウトを充填し、さらに補足としてゲルタイム 30～60 秒程度の LW（セメント+水ガラス）を注入した。

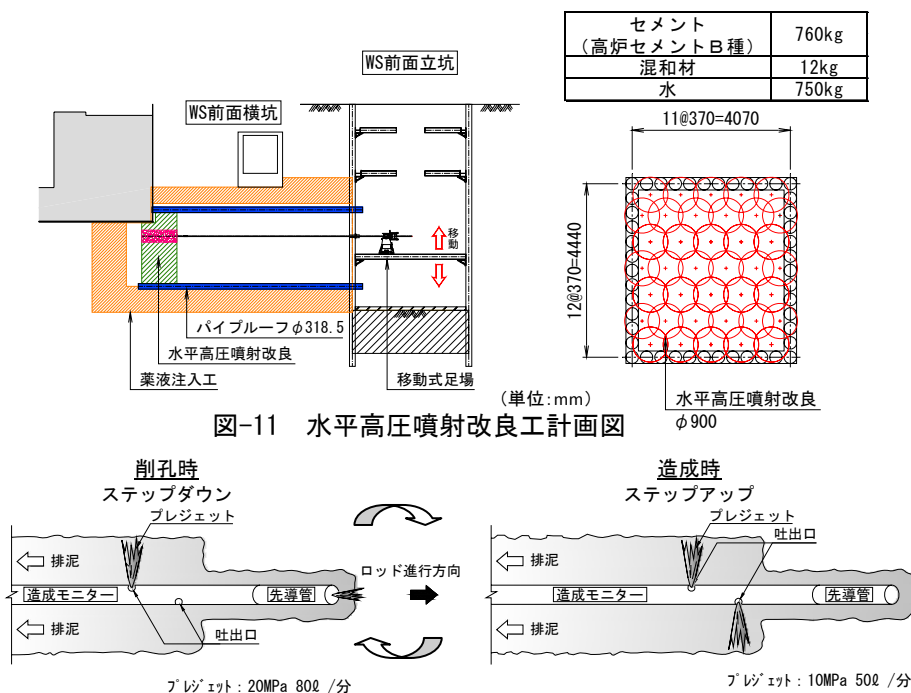


図-11 水平高圧噴射改良工計画図

図-12 水平高圧噴射造成メカニズム

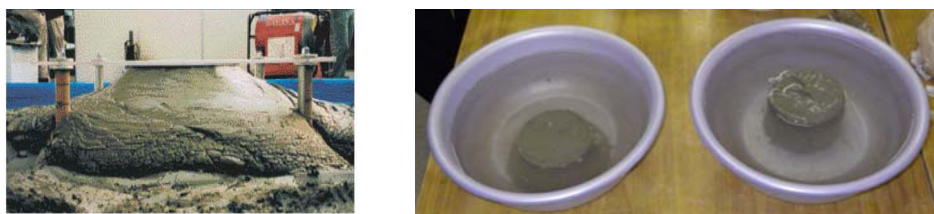


写真-2 アクアグラウト室内試験

表-1 アクアグラウトの配合および性能

配合 (kg/m ³)				性能	
高炉セメント B 種	アクアグラウト用 ベントナイト	アクアグラウト 混和剤	水	フロー値 (mm)	一軸圧縮強度σ ₂₈ (N/mm ²)
250	225	5.0	831.4	220～230	0.7～0.8

(5) 凍結工・導坑掘削工

立坑および横坑から水平ボーリングを行い、凍結管および測温管を埋設するケーシング削孔を行った。

凍結壁の造成に際し、凍結管の水平精度を確保できないと所要の日数で所要の厚みを確保できなくなる懸念があった。水平ボーリングの距離は最大で29m あるため、精度を確保するためのケーシング管をテーパ付き推進工法で埋設した。ケーシング管の精度を挿入式ジャイロで1本ずつ測定し、削孔精度が確保できないケーシング管は再削孔を行った(図-13)。

埋設した凍結管に-35℃のブライン液(塩化カリウム)を循環させ、凍土造成を開始した。測温管で地下水の温度や凍土壁の成長状況を確認したところ、躯体界面の一部で凍土成長が遅れているところがあったため、補足で薬液注入を行い、周囲の地下水の流れを止めて凍土造成を促した。

凍結完了後、躯体直下の導坑掘削を開始した。導坑の片側は凍結壁に支保工を設置し、土圧を保持し

ながら掘削した。導坑掘削時に躯体界面のアクアグラウトの充填状況を確認したところ、確実に充填されていて躯体界面からの漏水はほとんど無かった。

3. 基礎補強工事

(1) 概要

アンダーピニングを行ったミル直下で杭を増打ちするとともに既設ミル基礎床版の下に新設床板を打込み一体化させる計画であった。その間は定期休止期間として厚板ラインを42日間休止させ、ミル直下の基礎補強工事を行った。施工フローを図-14に、基礎補強概要図を図-15に示す。

ミル直下を既設床版から2mまで掘削した後、上向きに削孔して老朽化したアンカーボルトの撤去工事を実施した。さらに既設基礎床版から3.1mの深さまで再度掘削を行い、新設アンカーボルトの挿入工事、新設鋼管杭の増設工事を行った。既設床版から2mの深さまで一旦埋め戻しを行った後、配筋をして高流動コンクリートを打込み、基礎床版の補強を行った。

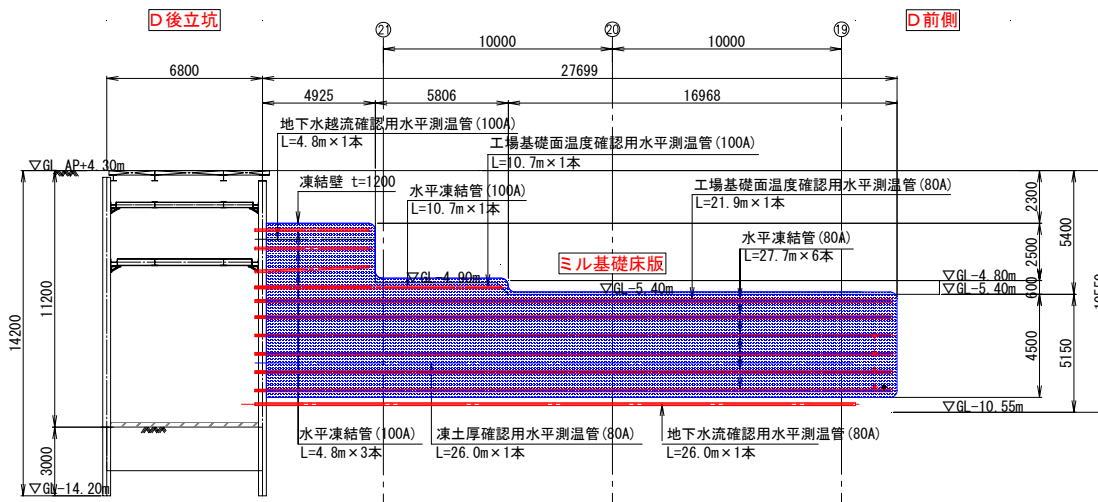


図-13 凍結管配置図(縦断)

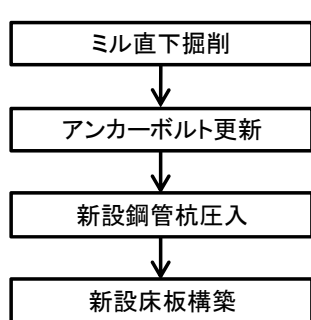


図-14 ミル直下施工フロー

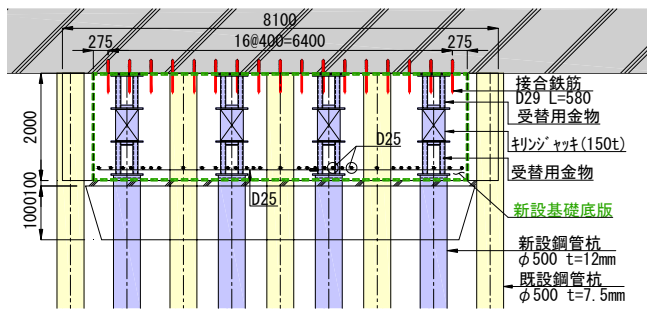


図-15 基礎補強概要図

(単位:mm)

(2) アンカーボルト更新工

既設アンカーボルト($\phi 90\text{mm}$, $L=2.5\text{m}$)はミル基礎床版(既設床版)底面から上方にコアボーリングで削孔して床版と縁切りする手順であるが、既設アンカーボルトは既設床版内部に埋込まれているため、床版底面から正確な位置を確認できない(図-16)。このため、設計図に従いボルト位置を測量し、試験削孔 $\phi 200\text{mm}$ を行って設計位置とのずれ量を確認した。

撤去の詳細手順は、ボルト下部のコンクリートを $\phi 300\text{mm}$ でコア削孔し、シース管底蓋をガス切断後、アンカープレートまでの樹脂部を $\phi 250\text{mm}$ でコア削孔、アンカープレートから上部を $\phi 200\text{mm}$ でコア削孔し、既設床版と完全に縁切りした(写真-3)。縁切りされたボルトを上部からウインチでミル直下へ吊り降ろしながら切断撤去した(図-17)。

新設アンカーボルト($\phi 100\text{mm}$, $L=3,620\text{mm}$)は、ミル直下からウインチを使用して引き込み、アンカーボルトとアンカープレートを組合せた後、所定の位置にセットし(写真-4)、あと施工アンカー(M12 $\times 4$ 本)で固定した。固定後はシース管内にグラウト材(超速硬性グラウト材)を注入した。グラウト材が所定強度に達した後、アンカーボルトを締付け所定の緊張力を導入し固定した。

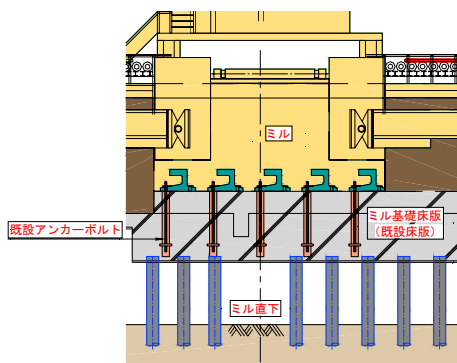


図-16 ミル基礎床板断面図

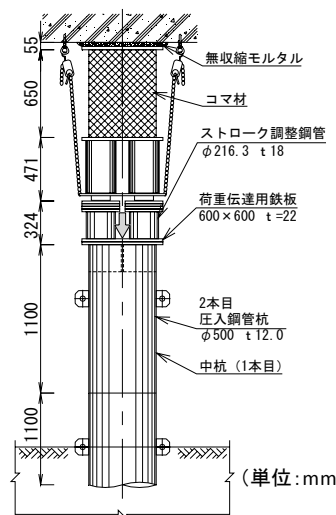


図-18 新設鋼管杭構造図

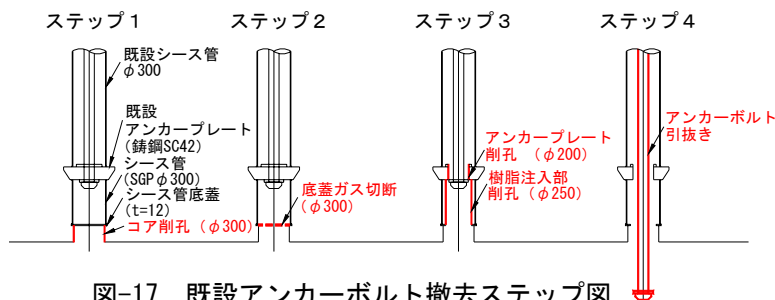


図-17 既設アンカーボルト撤去ステップ図

(3) 新設鋼管杭増打ち工

新設鋼管杭(鋼管 SKK $\phi 500$ t=12mm $L=7.6\text{m}$) (図-18)はミル基礎床版(既設床版)を反力とし、18本を圧入工法で打設した。空頭 3m での施工となるため、 $L=1.0\text{m} \sim 1.1\text{m}$ の短尺物(7本継)を用い1500kN油圧ジャッキ4基で圧入した(写真-5)。

既設床版から圧入反力をとるため躯体の安全性を元に事前の解析を行い、最大圧入荷重、打止め管理事項等を設定した。圧入区間の地質は $N=30 \sim 50$ の洪積砂質土層であり支持層の高さが一定していなかったため、打止め管理事項を満足したところで杭の圧入を完了することとした。

事前の解析により、既設床版の荷重受替え時はプレロード荷重 500kN を導入する必要性が確認された。施工時には 300kN プレロードジャッキを4基使用して1000kNまで載荷後、受替部のジャッキを締付け、プレロードジャッキの油圧を除荷することでプレロード荷重を導入した(写真-6)。



写真-3 既設アンカーボルト撤去



写真-4 新設アンカーボルト設置



写真-5 鋼管杭圧入



写真-6 プレロード導入完了

(4) 新設床版構築工

新設床版(8.1m×9.5m×t2.0m)は既設床版の下に構築するため逆打ちコンクリートとなる。平面積の広い閉鎖空間となるため、パイプレータでの締固めができず、コンクリートの充てん状況を目視で確認できない。このような厳しい条件下で、新設床版と既設床版を一体化させるため、確実に密着させるという課題があった。

それらの課題を解決するため、高流動コンクリート、無収縮モルタル注入、コンクリート充填確認センサおよび透明型枠を採用し、新設床版のコンクリート打込みを行った。

また、新設および既設床版の一体化をはかるため、接合面にずれ止鉄筋を配置した。床版配筋は下筋のみの2方向鉄筋であり、狭隘な空間での配筋作業であったため、鉄筋の継手は機械継手を採用した(図-19)。コンクリートは閉鎖空間への充填となるため、予め打込み用配管を2列×2系統=4本を設置し(写真-7)、高流動コンクリートを用いた。

高流動コンクリートの主な要求品質は次の3点である。①パイプレータによる締固めが不可能であるため、自己充てん性を有し、流動性の高いコンクリ

ートが必要である、②吐出口が移動不可能であり、型枠内に十分充てんさせるためには型枠内に打込んでから1時間以上スランプフローの保持が必要である、③型枠内には基礎杭や鉄筋等があることに加え、コンクリート圧送距離60m程度で鉛直下方向に圧送することになるため、材料分離抵抗性のあるコンクリートが必要である。これらの課題を考慮し、室内試験および実機試験を行い、配合を決定した(表-2～3、写真-8)。

コンクリートと既設床版との密着は目視では確認できないため、充填状況が確認できるようにコンクリート充填検知システム(ジューテンダー)を既設床版部に13箇所設置した。また、コンクリートの流動勾配を把握するため既設鋼管杭にもジューテンダーを12箇所設置した。サクシオンホース先端からコンクリートが吹き出すまで(内部にヘッドが50cmかかった状態)圧送し打込み終了とした。打ち継ぎ部のジューテンダーは全て反応し確実に充てんされたことが確認できた(写真-9)。



写真-7 コンクリート打込み配管

表-2 コンクリート配合

Gmax (mm)	セメント 種類	W/C (%)	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)
20	高炉セメント B種	35.1	70±5.0	4.5±1.5

単位量 (kg/m ³)				
水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能Ae 減水剤
175	499	845	783	C×1.2%

室内試験結果 表-3 室内試験結果

項目	規格値(目標値)	練上がりからの経過時間	
		5分後	30分後
スランプフロー	70±5cm	61.0cm※	67.5cm
50cmフロー到達時間	3～15秒	6.8秒	4.3秒
空気量	4.5%±1.5%	3.9%	3.7%
ホックス充てん高さ	300mm以上	—	325mm
V漏斗流下時間	併用型 7～20秒	—	①8.6秒 ②7.4秒
コンクリート温度	—	19.0℃	19.0℃

※30分後に規格値に入るように配合設計したため、5分後では規格値に入っていない

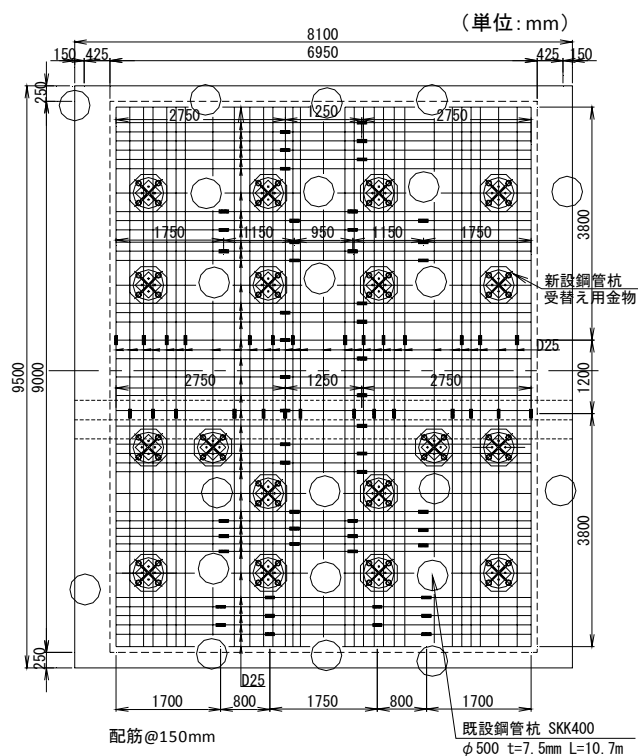


図-19 新設床版平面図

コンクリート充填が不完全な場合の対処として、予め既設床版底面に無収縮モルタル充填用のホース（FUKO ホース）を配置した。

高流動コンクリートは奥側から順にエアを押し出しながら充てんした。結果として無収縮モルタルがほとんど充てんできないほど、既設床版と新設床版の界面を密着させることができた。

(5) 埋戻し復旧工

各立坑、横坑、導坑の埋戻しは、流動化処理土（セメント量 80kg/m^3 ）を用いて行った。導坑内、横坑内に 4B(内径 $\phi 100\text{mm}$)サクションホースを設置し、奥側からエアを追い出しながら埋戻しを行った。（写真-10）

4. おわりに

ミル直下の基礎補強工事は41日間で施工が完了し、無事に定期休止期間42日以内で施工を完了することができた。その後、横坑および立坑を流動化処理土で埋戻しを行い、全ての工事を完了した。厚板ラインが再稼働した後にミル機械の振動値を測定すると、補強後では大幅に軽減され、補強効果が発揮されていることが確認できた。

本工事は将来の機械荷重増加に対応するため、アンカーボルトの更新と共に基礎を補強した事例である。耐震補強を目的に実施された工事ではないが、補強方法は同様であるため、稼働中の工場の耐震補強にも適用することができる。

今後、高度成長期に建設された設備の更新や耐震補強は増加すると考えられる。本事例が同種工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 加藤貴代, 田中孝典, 影山雄, 本田幸一郎, 佐藤弘, 長崎康司：水平方向の噴射攪拌工法を用いた耐震補強工事（試験施工），土木学会第 65 回年次学術講演会，IV -133, pp.265-266, 2010.9

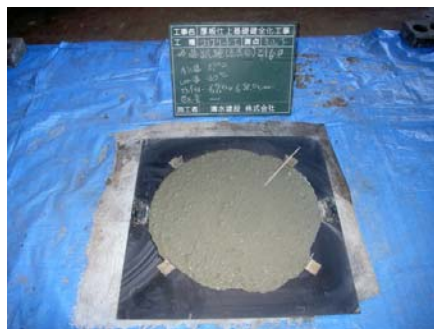


写真-8 高流動コンクリート



振動デバイスに接触する部材の違い
による表示色の変化

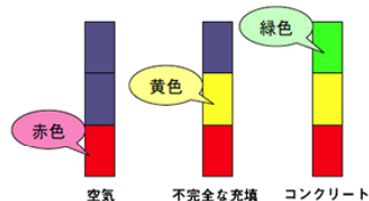


写真-9 ジューテンダーモニタ画面

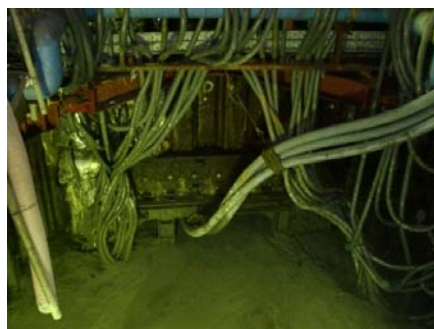


写真-10 流動化処理土埋戻し