

アンダーピニングによる稼働中工場基礎の補強工事

竹村 瑞元・藤田 淳

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紹介する。

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

1. はじめに

製鐵所では図-1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機械を使っ

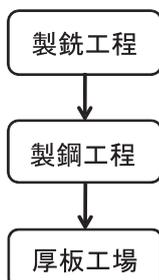


図-1 圧延機（ミル）および施工フロー

て圧延を行う。

一般的に大規模な機械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。長期間の休止が不要となるミル直下からの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。ミル直下に空間をつくり、アンダーピニングの実現可能性の検討を進めた結果、ミル直下からの基礎補強が十分に可能であることがわかった（図-2参照）。

本工事は厚板工場の定期休止期間（42日間）の中でミル基礎躯体を補強するために、立坑および横坑から基礎直下に入り、アンカーボルトの更新、鋼管杭増設および床版増し厚等で基礎を補強する工事である。

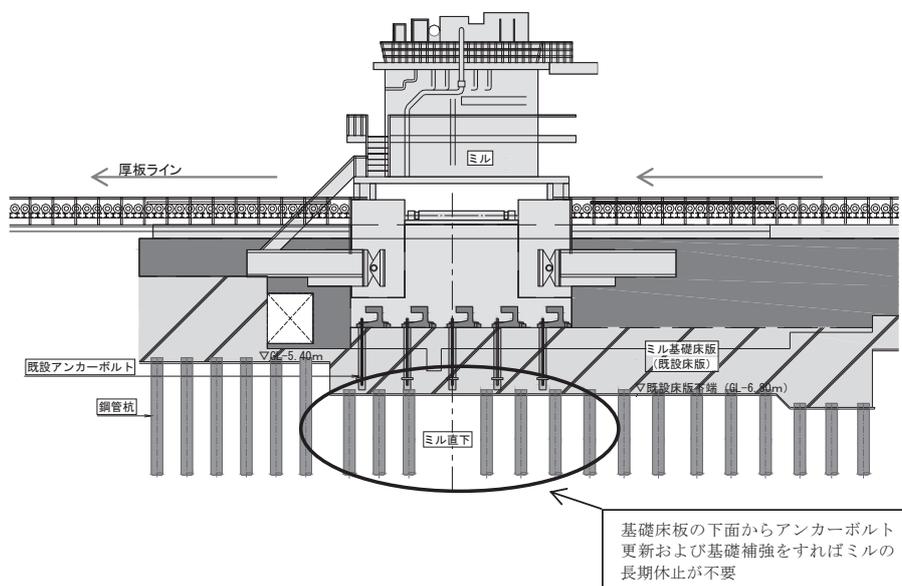


図-2 ミル基礎断面図

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、海が近いので供給量は豊富である。基礎補強するには最深部でGL-10.1mまで掘削することになるため、**図-3**に示す施工フローで施工した。

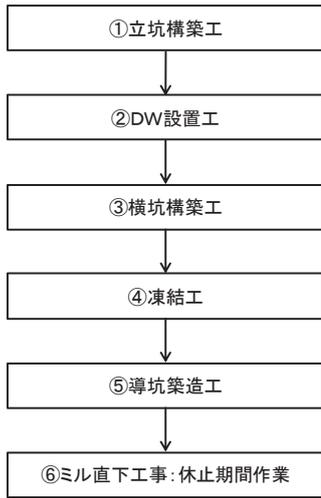


図-3 施工フロー

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-4**参照)。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(以下DW)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(**図-5**参照)。躯体界面の地下水の遮断という課題を克服する必要があるため、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

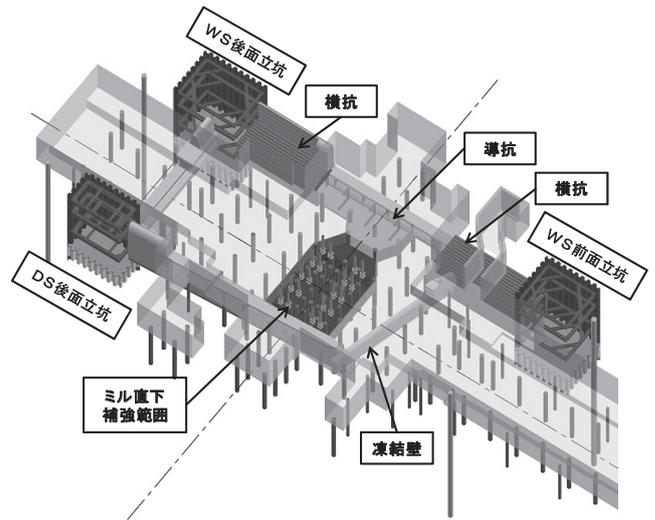


図-4 鳥瞰図

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。

(2) 立坑構築工・被圧地下水位低下工

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:φ3.2m×10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、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。

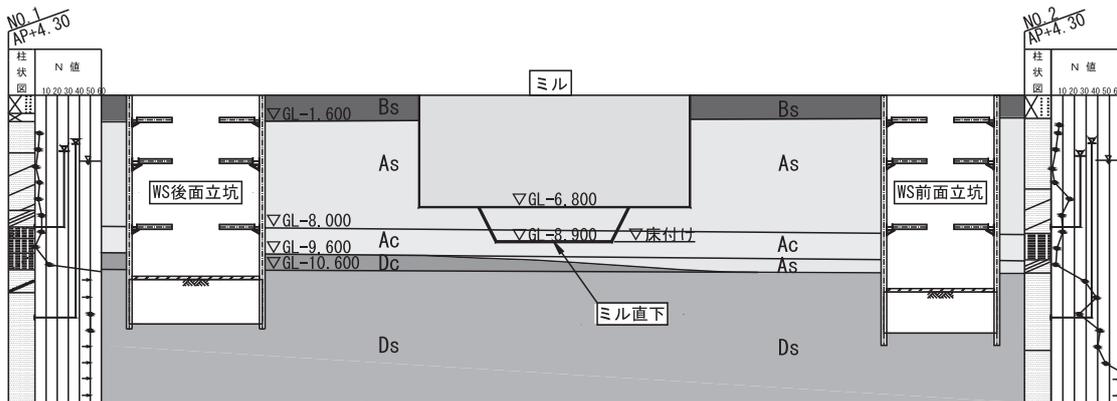


図-5 土質縦断面図

(3) 横坑構築工

土被りが6m程度あり地下水位も高いため、パイプルーフで周囲4面を囲い、内部に鋼製支保工を設置する構造とした(図-6, 7参照)。パイプルーフは最も小径のφ318.5mmの鋼管とし、推進機を使って設置した(写真-1参照)。

パイプルーフは地下水が侵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

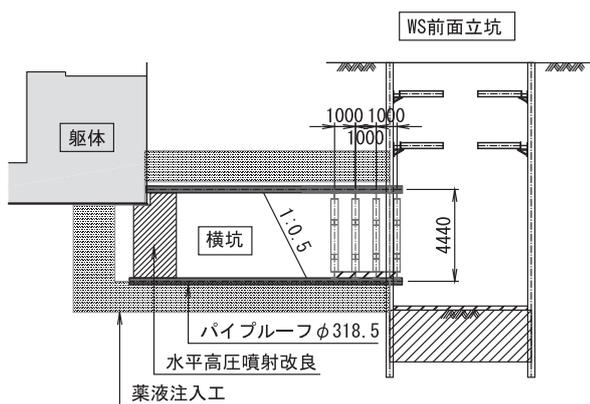


図-6 横坑概要図

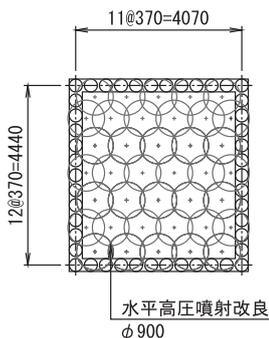


図-7 横坑断面図

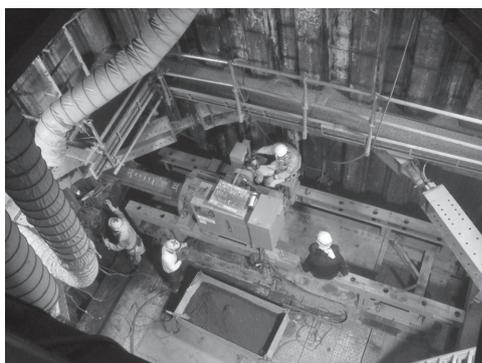


写真-1 パイプルーフ施工状況

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。

(4) 躯体界面空隙充てん工

ミル基礎床版(杭基礎)は躯体と地盤の界面に隙間があることが考えられていたが、計測の結果300mm以上の空隙がある場所も観測された。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てんを実施した。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-1参照)。

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てんし、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。

(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、凍結管削孔を行った。凍結壁は止水部で1,200mm、土留め壁兼用部で1,600mm必要であり、水平精度を確保できないと凍結壁が所要の日数で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



写真-2 アクアグラウト室内試験

表-1 アクアグラウト配合

配合			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/m ²)
250	225	5.0	831.4	220 ~ 230	0.7 ~ 0.8

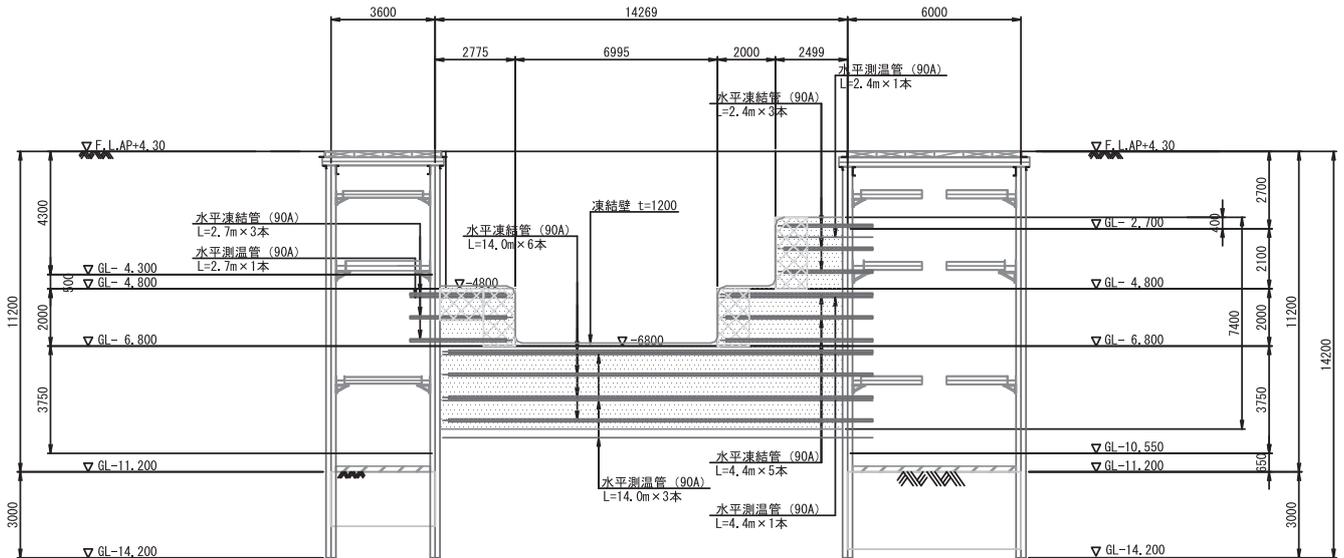


図-8 凍結管削孔断面図

できないケーシング管は再削孔を行った(図-8参照)。

埋設した凍結管に -35°C 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で土圧を保持しているため、掘削時に支保工を設置しながら掘削した。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増厚コンクリート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-9に、

基礎補強概要図を図-10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。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。

(2) アンカーボルト更新工

既設アンカーボルトの撤去は、下部コンクリートを

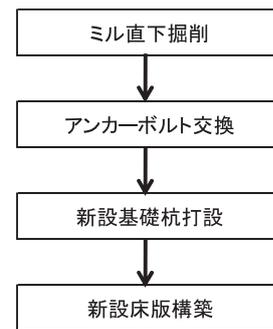


図-9 ミル直下施工フロー

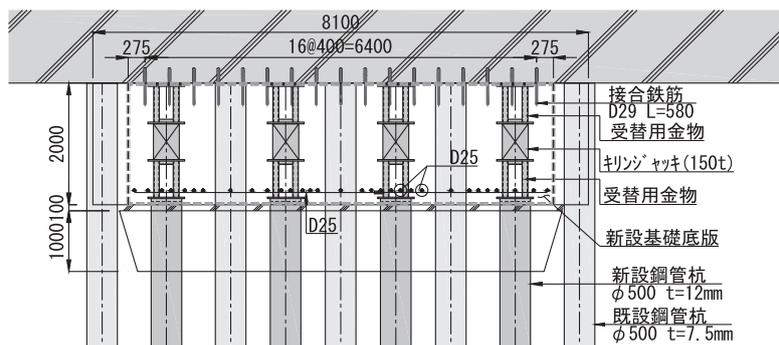


図-10 基礎補強概要図

上方に向かってφ300 mmのコアで削孔し、シースマン底蓋をガス切断後、アンカープレートまでの樹脂注入部をφ250 mmで削孔、さらにアンカープレートから上部をφ200 mmで削孔した。アンカーボルトは上部からインチでミル直下に吊り降ろしながら切断撤去した(図-11, 写真-3参照)。

次に更新する新設アンカーボルト(φ100 L = 3,620 mm)の設置を行った。アンカーボルトとアンカープレートを組合せた後、ミル直下からインチを使用して引き込み、所定の位置にセットして固定した(写真-4参照)。固定後はシースマン管内にグラウト材(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、アンカーボルトに所定の緊張力を導入し固定した。

(3) 新設鋼管杭圧入工

新設鋼管杭(鋼管SKK φ500 t = 12 mm L = 7.6 m)(図-12)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3 mでの施工とな

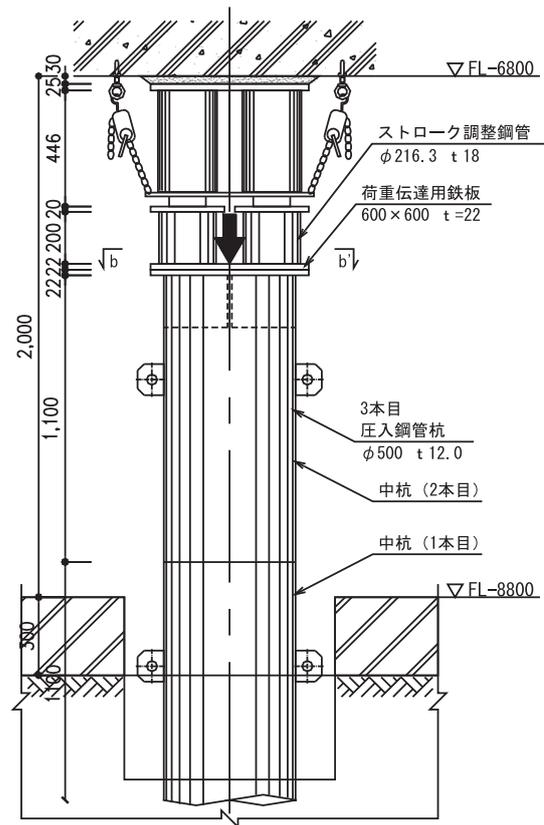


図-12 新設基礎杭構造図

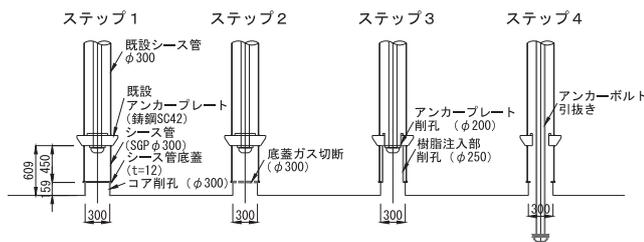


図-11 アンカーボルト撤去手順図

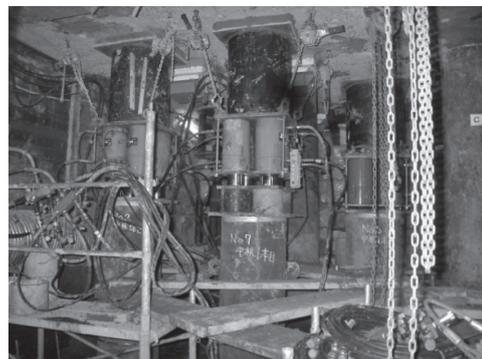


写真-5 鋼管杭圧入状況



写真-3 アンカーボルト撤去状況



写真-4 新設アンカーボルト挿入状況

るため、L = 1.0 m ~ 1.1 mの短尺物(7本継)を用い1,500 kN油圧ジャッキ4基で圧入した(写真-5参照)。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 ~ 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打設を完了することとした。

既設床版の荷重受替時は、事前の解析からプレロード荷重500 kNを導入する必要があった。プレロードジャッキを4基使用して1,000 kN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)。



写真一六 鋼管杭打設・プレロード導入完了



写真一七 コンクリート打込み用配管

表一 二 高流動コンクリート配合

Gmax (mm)	セメント 種類	W/C (%)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	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
20	高炉セメント B種	35.1	70 ± 5.0	4.5 ± 1.5	175	499	845	783	C × 1.2%

(4) 新設床版構築工

増打ちする新設床版 (t = 2.0 m) は既設床版直下にコンクリートを打込むため、逆打ちとなる。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。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本設置し (写真一七)、高流動コンクリート (配合：表一 二) を用いた。

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。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。

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。

最後に、本工事を施工するにあたりご協力・ご指導をいただいた新日本製鐵(株)の君津製鐵所(久恒貴史様、川崎勉様、大出哲也様)ならびに設備・保全技術センター(清崎弘二様、花田賢師様)他関係者の皆様に深く感謝いたします。

JCMA

[筆者紹介]
竹村 瑞元 (たけむら みつとし)
清水建設
土木東京支店 千葉土木営業所
工事長



藤田 淳 (ふじた じゅん)
清水建設
土木技術本部 技術計画部
課長

