ＪＵＳＴ技報

No.３４　２０１７年４月６日

鋼製煙突の保守検査　　非蛍光磁粉による磁粉探傷

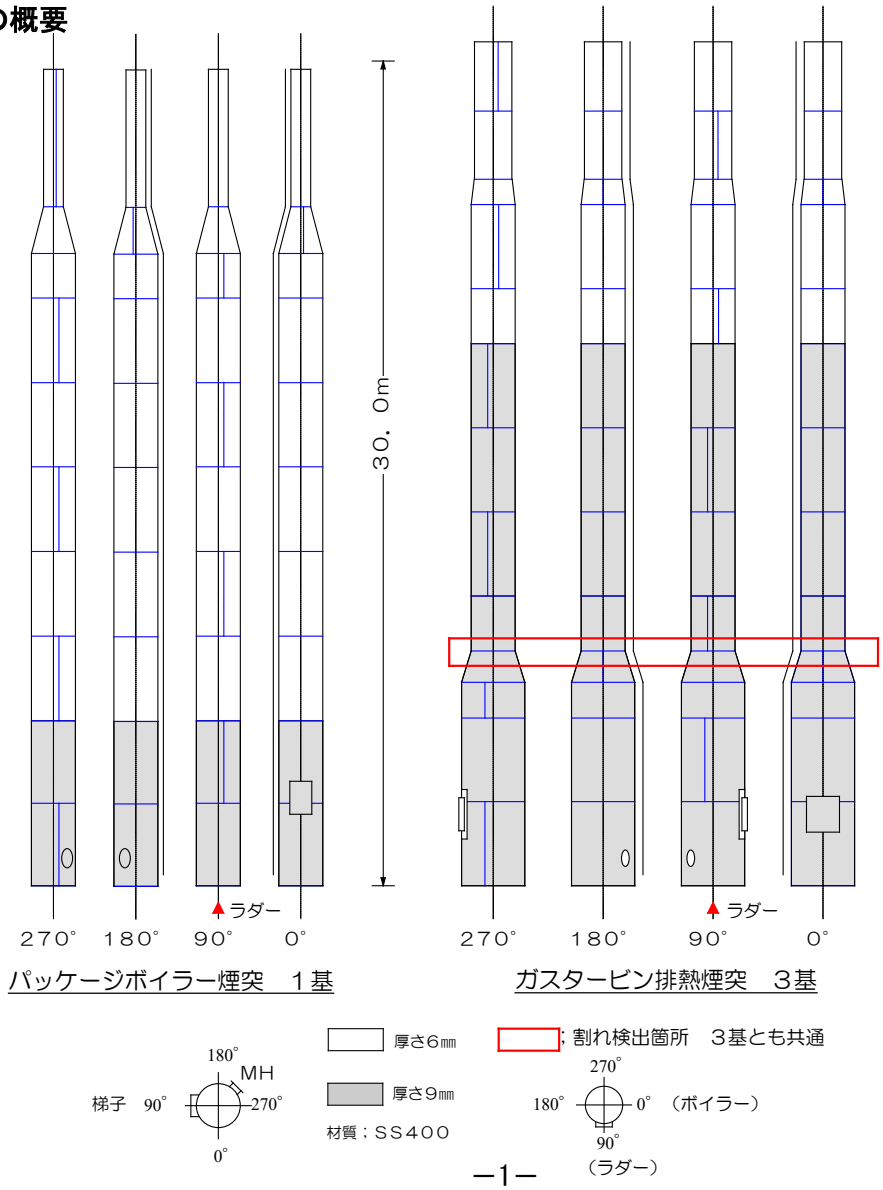
名古屋営業所
近藤　浩

キーワード　　煙突、磁粉探傷、非蛍光磁粉、疲労割れ、保守検査、カルマン渦、渦励振

１．概要

ある事業者のＢＣＰの一環として鋼製煙突の保守検査（超音波厚さ測定、磁粉探傷試験）を実施した。　検査をおこなった煙突の内、3 本の煙突の同じ部分に疲労割れを検出、内 1 本の割れは全周約 5mの溶接部の対称な位置にそれぞれ長さ 1m以上の割れが発生し、その一部は貫通している状態で、地震や台風でこの方向に力を受けたら直ちに倒壊するのではと思われた。　構造物の保守検査として、非蛍光磁粉を使用した磁粉探傷試験の実際を紹介する。

２．煙突の概要



株式会社ジャスト

２．試験方法

非蛍光磁粉（白色）による磁粉探傷試験をおこなった。　昼間の作業であり、足場上でシートを被った蛍光磁粉による作業は危険であり、作業効率も悪いので非蛍光磁粉を選択した。(構造物外面の蛍光磁粉による磁粉探傷は夜間におこなう事も多いが)　非蛍光磁粉の使用はテキストなどでは黒色磁粉＋コントラストペイントを使用する例が多いが、黒色磁粉はそれ自体着色していない酸化鉄なので、非常に感度は良いものの（蛍光磁粉より欠陥に吸着されやすい）観察しにくく、それを改善するためのコントラストペイントは後処理に労力を必要とする。　白色磁粉は名古屋営業所がおこなっているコンクリートポンプ車の検査では 2004 年から使用してきた実績があり、微細な欠陥では検出能力が蛍光磁粉に劣るものの、色の濃い塗装面や錆びた面に対しコントラストが良好である。　また、作業期間の途中でボイラーの稼働中（煙突の最大温度 100℃程度）に検査をおこなうことになったが、蛍光磁粉では輝度が低下して検査が可能だったか疑問である。

JIS A1（15/100）試験片人口きずの検出状況

ポンプ車の疲労割れ（ブーム上面当て板溶接部）

ポンプ車の割れ（ブーム側面の疲労割れ）

ポンプ車の割れ（ブーム側面の疲労割れ）

３．前処理

検査前処理はディスクグラインダーにカップホイールを取り付け、機械的に塗装剥離をおこなった。この煙突は樹脂系アルミニウム耐熱塗料で塗装され、塗膜のひび割れ部分以外は塗装が“生きている”状態でかなりの労力を要した。

ディスクグラインダーにカップホイールを使用する場合、特に注意しなければならない事項はカップホイールの回転数である。　ディスクグラインダーのスピードは、直径 100 ㎜の砥石を使用した場合、砥石先端の速度は 72m/秒（4300m/分）、この時回転数は約 13600R.P.M であり下の写真スキルタッチに記載の数値にほぼ一致するが、カップホイールにはＭＡＸ12500R.P.M（種類による）と記載されているので、一般のディスクグラインダーにこのカップホイールを取り付けて使用すると回転数がオーバーとなり、ディスクグラインダーに過度な負荷を与え続けることになり、故障の原因となる。　これを避けるために名古屋や大阪営業所では可変速のディスクグラインダーを購入し（値段は２倍するが）、回転数を最大出力の 8 割程度に落として使用している。　これによりディスクグラインダーへの過負荷を防ぎかつ、長時間カップホイールを使用し続けて起こる肘への負担もかなり低減される。

【写真】

左上：前処理状況（ゴーグル必須）

上：塗装健全部　Ｔクロス各 300 ㎜
剥離後

左：塗装劣化部　剥離後

※　Ｔクロス近傍の■剥離部は
厚さ測定位置

４．電源について

一般にＭＴ１チームあたり必要な電力容量は 10～15Ａである。　（極間式磁粉探傷器 3Ａ、ブラックライト 1Ａ、ディスクグラインダー8～10Ａ）　客先のプラント内の仮設電源から電光ドラム、キャプタイアケーブル（20m）をつないで十分であったが、１回だけ前処理（ディスクグラインダーによる塗装剥離）を２チームにした時は電光ドラムからもう１本キャプタイアケーブルを引くのではなく、改めて他の仮設電源からキャプタイアケーブルを引いた。　ディスクグラインダーの容量が最大 10Ａであるので、２台の同時稼働は客先のブレーカーを落としてしまうし、１台でも溶接部に強く押し付けて使えば負荷がかかり、ブレーカーを落とす可能性がある。

（酸欠危険場所のセーフラインー送風機、エアラインマスクなどの電源も、作業に使用する電源と別系統で電気を取ります）

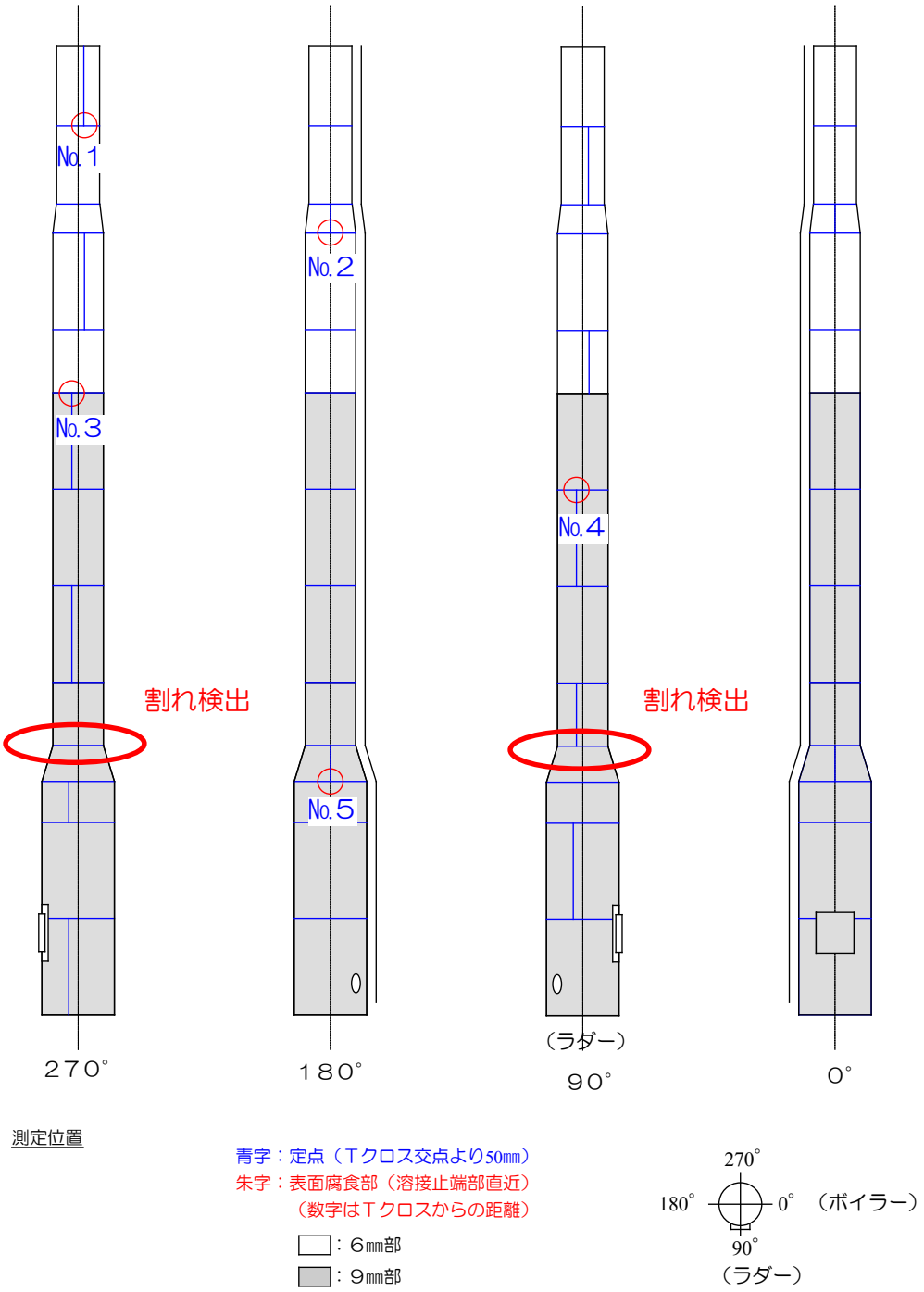
５．試験条件

試験条件は以下の通り。（報告書の写し）

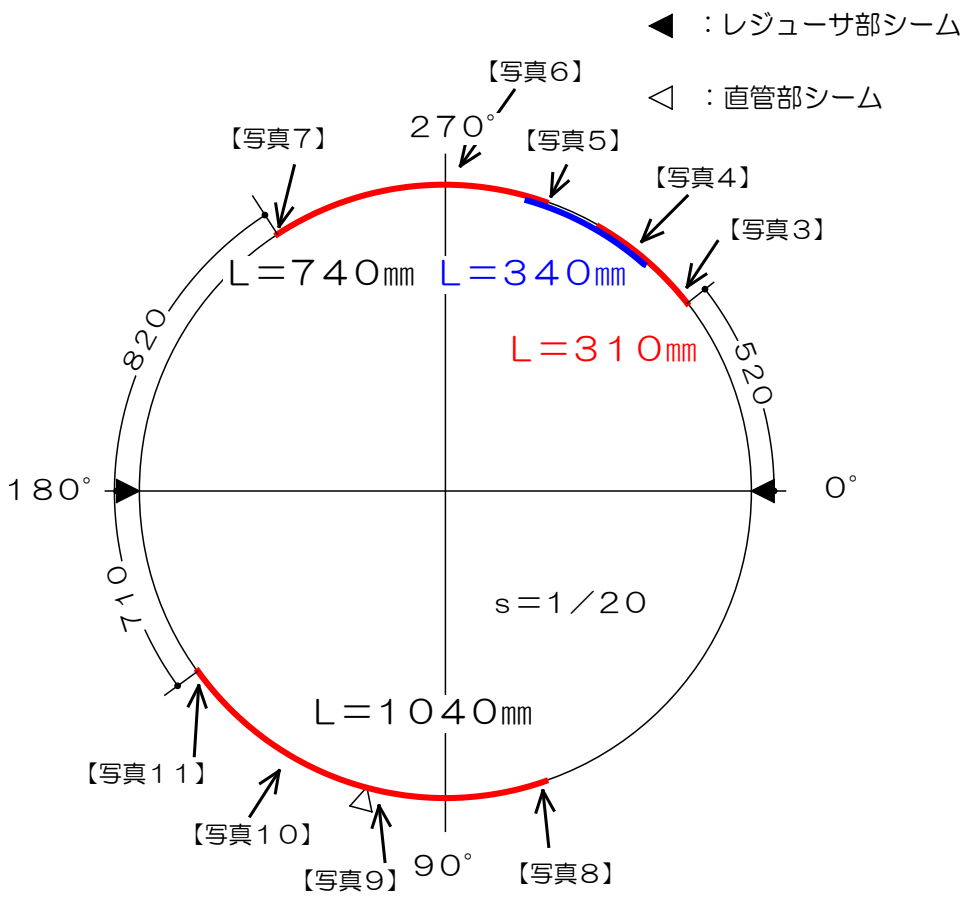
磁　化　装　置		探　傷　条　件	
製　造　者	日本検査機材（株）	磁 化 方 法	極間法（AC　100V）
型　　式	HAND－MAGNA　N-2Y	磁粉適用時期	連続法
製 造 番 号	2907	通 電 時 間	3～5 秒
磁極間距離	130 ㎜	磁極の配置	溶接線に対し直交・平行
鉄心断面積	20 ㎜×20 ㎜	探傷有効範囲	片側 65 ㎜
点検年月日	2016 年 5 月 30 日	探傷ピッチ	50 ㎜
全　磁　束	0.54　mWb	検 査 時 期	保守検査時
ﾘﾌﾃｨﾝｸﾞﾊﾟﾜｰ	54Ｎ以上	前　処　理	カップホイールによる塗装剥離
補助ヨーク	－	標準試験片	JIS　A1　15/100（直線）
紫外線照射灯		検　査　液	
製　造　者	－	製　造　者	栄進化学
型　　式	－	種　　類	湿式白色磁粉
製 造 番 号	－	型　　番	MS-30
紫外線強度	－	検査液濃度	10ｇ/ﾘｯﾄﾙ
点検年月日	－	粒　　度	5～30μｍ
－	－	分　散　媒	水道水（界面活性剤・防錆剤添加）

６．検査結果

最大の割れを検出したNo.１煙突の結果を抜粋する。　割れを検出した溶接部はこの煙突で唯一の**「現場溶接部」**でその他の溶接部はレジューサー部の縦シーム以外サブマージアーク溶接で外観も良好な形状だった。

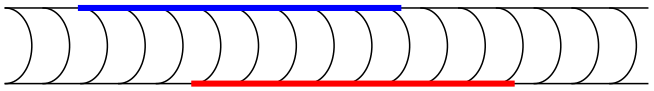


・割れの詳細



朱字：レジューサ側止端部
青字：直管側止端部

直管　ＯＤ　１６１８㎜×９．０ｔ



レジューサ　ＯＤ　１６１８㎜×９．０ｔ

	【写真１】 「へげきず」 ※圧延鋼材表面の剥離状のきず（鋼板の製造時に表面に残った不純物が圧延されたもの）
	【写真２】 「へげきず」拡大 グラインダーで研削すると、すぐ高温になり（層状に分布しているので）青く変色する 板厚方向に進展しないので、放置した
余白	

	【写真３】 現場溶接部 270°側の割れ 割れの起点（０°側）
	【写真４】 現場溶接部 270°側の割れ 上下の止端部に発生
	【写真５】 現場溶接部 270°側の割れ 割れが溶接部を横断

	【写真６】 現場溶接部 270°側の割れ 270°付近 割れの開口幅が最も著しい
	【写真７】 現場溶接部 270°側の割れ 割れの起点　270°側
	【写真８】 現場溶接部 90°側の割れ 割れの起点　０°側

	【写真９】 現場溶接部 90°側の割れ 直管長手シーム（ラダーサポート）付近
	【写真１０】 現場溶接部 90°側の割れ 割れ中央部付近
	【写真１１】 現場溶接部 90°側の割れ 割れの起点　１８０°側

７．まとめ

■割れの発生原因

　某設計会社によると割れの発生原因は「カルマン渦」による「渦励振」が原因との事。流体の中の円筒の後方に渦が発生し、ある条件で円筒が振動を起こし疲労割れを発生させる。　同じような例は「もんじゅの温度計さや管の破断」「アメリカの鋼橋の崩落」など、有名な大事故が多い。
それにしても、形状を見てこの煙突をゆすったらどこに力がかかるのか、一目瞭然の場所が現場溶接で、しかも溶接形状がイマイチだったとは・・・。（この部分で分割することが現場へ輸送するときの長さ、重量が最適だったと考えられるが・・・・）

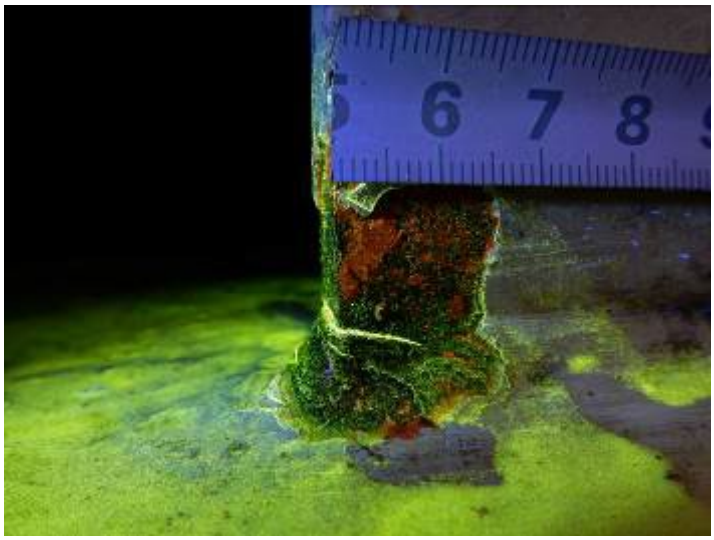
■非蛍光磁粉について

　非蛍光磁粉を使用した理由は２ページに記載した以外に、この煙突の検査に法的な規制がない事も一因だった。　磁粉探傷が多く使用される「石油タンク」「球形ガスホルダー」「圧力容器」などはそれぞれ法律で磁粉探傷が規定され、官庁の立会い検査もあるので、感度のよい蛍光磁粉を使用することが暗黙の了解となっている。　この施設の場合、タービン、ボイラーと周辺の配管までは法の規制があるが、この煙突と手前の煙道には法規制がなく自由に検査を計画することが出来た。

■蛍光磁粉をについて

　技術面、経済面、安全面などの理由で非蛍光磁粉を使用した理由を述べてきたが、必ず蛍光磁粉を使用しなければならない場合もある。

・初級技術者の場合
・観察しにくい場所・環境
・微細な欠陥
　　初期の応力腐食割れ
　　初期の疲労割れ
・機械部品



橋梁　Web ギャップ横桁側の疲労割れ

初級技術者は見落としの少ない蛍光の方が安全である。また蛍光磁粉を使用するには必ずブラックライトが必要で、長い溶接部の探傷では「検査員」と「ブラックライト持ち」の 2 人一組で作業をおこない、作業の実施がＯＪＴとなり、後継者を育てやすい。

プラント系の検査会社ではおそらく「磁粉探傷試験」と言えば「蛍光磁粉」が当たり前で、「非蛍光磁粉」の使用は全く考えないと思われる。

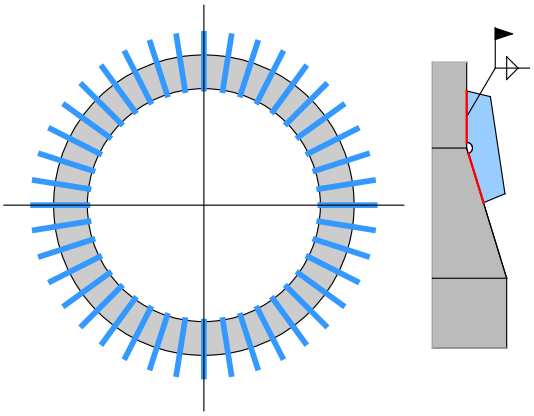
■保守検査について

ＪＵＳＴのおこなっている建築鉄骨の超音波探傷試験で、仮に欠陥を見逃したとしても、その欠陥が原因で構造物が破壊するという事はまず考えられないが、保守検査の世界では欠陥（割れ）の見逃しは次の点検の前に（設備が稼働中に）漏洩や破壊がおきてしまう場合がある。　保守検査は普段おこなっている建築鉄骨の検査とは別の緊張感を持つことが必要だ。

この世界に入って 37 年経過したが、いまだに「あの欠陥が見逃していたら・・・」という、いくつかの割れを覚えている。　厚さ 40 ㎜のリアクター（反応を起こす圧力容器）の内表面、SUS405 のクラッド鋼の溶接部に検出した僅か長さ 2 ㎜の横割れが、厚さ 3 ㎜程度のクラッド鋼を突き破り本体に達していた。「これを見つけていなかったら、吹っ飛んでいたね」とユーザーの工務担当者。そのリアクターは補修の為、室蘭へ送られ補修完了まで 3 か月間石油精製工場の稼働が止まっていた。

■補強

割れが検出された日、設計会社へ「極めて危険な状態です。ただちに補強が必要です」と連絡したが、実際に補強がおこなわれたのは３週間くらい後の事だった。　補強は割れの発生位置がレジューサーと直管の溶接部だったため、当て板の製作が困難で、形状に合わせたリブを 40 枚（9°ピッチ）取り付け現場で隅肉溶接をおこなった。



足場組立前の様子