

# BOLTED

A MAGAZINE ABOUT BOLTING TECHNOLOGIES

2021 年第 1 号



DESIGNING FOR  
**A SAFER WORLD**

04  
GENOA BRIDGE

ノルトロックワッシャーは、新しいジェノバ橋で重要な接続部を固定する。



18  
SECURED BY

エクパンダー・システム、家族経営企業のショベルカーの寿命延長に貢献。



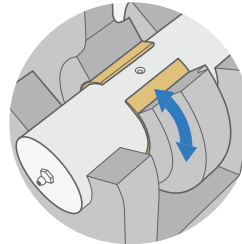
08  
INDUSTRY INSIGHTS

工学はどのように世界中のインフラをより復元力のあるものにできるか。



20  
THE EXPERTS

ピボット摩耗に影響するものとは何か？



11  
SUPERBOLT HYFIT

新世代カップリングボルトの設計に関する知見。



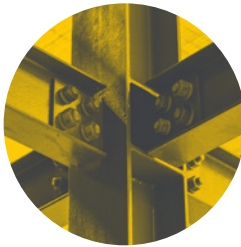
22  
AMUSEMENT PARK SAFETY

何も成り行き任せにしないことを保証する。



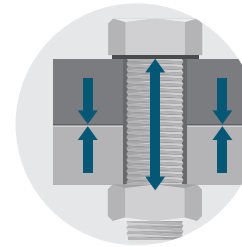
14  
A SAFER WORLD

信頼性は技術者にとってどのように競争的需のバランスを取ることに貢献するのか。



26  
THE EXPERTS

外部荷重が適用されたときに軸力と締付力には何が起きるか？



編集長

アレクサンサー・ウェンベルク  
alexander.wennberg@nord-lock.com

アシスタントエディター

アリアネ・オスマン  
ヨルゲン・リンドストレーム

美術指導 & デザイン

Gabriel Jacobi

コンテンツ制作

ノルトロックグループ  
スプーンエージェンシー

翻訳

LanguageWire  
株式会社ノルトロック  
ジャパン

カバー画像

レイヤー 1

印刷

中部印刷株式会社

BOLTED マガジンは、ノルトロックグループにより、ボルト締結分野の知識向上を目的に発刊されています。本誌は、英語・日本語・ドイツ語・フランス語・スペイン語・イタリア語・フィンランド語・中国語・韓国語・スウェーデン語の計 10 か国語で年に 2 回発行されています。

本誌はその目的上、弊社より依頼したものでない記事寄稿は受け付けておりません。また、本誌内容の全部または一部を許可なく流用、転載することはできません。本誌内容の全部または一部を流用、転載を希望される場合には、編集主幹または株式会社ノルトロックジャパンまでご連絡ください。本誌における記事内容や見解は、必ずしもノルトロックグループや、制作、発刊

関係者の考えと一致するものではありません。本誌掲載の情報を活用される際は、活用者自身の責任のもとで行われるものとし、ノルトロックグループはその結果生じる、直接的、間接的、偶発的、必然的のいかなる損害についてもその責任を負いません。

BOLTED マガジンは弊社製品ユーザー様並びにお客様、販売代理店様にお送りしているもので、ご送付先住所等をご注文時、弊社営業技術員にご提供いただいたお名刺、またはご自身で読者登録をいただいた際の情報です。

弊社に直接情報をご提供いただいた方以外にも、正規の契約を締結した提携先第三者機関から情報を受け取り、ご送付申し上げる場合もございます。弊社は本誌を受け取られた読者様の情報を BOLTED マガジンを通し、ボルト締結技術や弊社製品およびサービスに関する最新の情報をお届けする目的で、法令を遵守しながら使用しております。今後「BOLTED」誌のお届けをご希望されない場合は、お手数ですが下記よりお知らせ願います。

unsubscribe@nord-lock.com

ご意見、ご相談等ございましたら、下記までお寄せください。

info@nord-lock.com



フレドリック・ミュラー  
ノルトロックグループ CEO

## インフラに投資することは、 将来に投資することです。

コロナウイルスは、個人、事業、社会、全てのものを試練にさらしました。私たちは確かに悲劇や喪失に直面しましたが、コロナウイルスに対し献身的に取り組み、意識を向けたとき人として前進し偉大なことを成し遂げられることも再び証明しました。このことは将来にとって安心できるような知見です。何故なら、これからさらに多くの課題が現れるからです。

私たちは本号の BOLTED マガジンで、増加し続ける自然災害と人災の両方がどのように重要インフラに過酷な負荷を掛けているかについて専門家に話を伺いました。構造技術者と機械技術者は、かつて無い程予期せぬ出来事に対し考慮する必要があります。

人命と顧客の資産を保護することは、ノルトロックグループの使命です。私たちは、長年にわたりより安全な世界の実現に不可欠な役割を果たすことに献身的に取り組んできました。そのため、私たちは特にイタリア・ジェノバの新しい橋など、要求が厳しく重要なエンジニアリングプロジェクトに参加できることを誇りに思います。

2018年の暴風雨の時、同市の有名なモランディ橋は突然崩落しました。この悲劇は、こうした試練の時を思い起こさせるものですが、協力によって成し遂げられることを示す重要な例でもあります。

事実、新しい橋は記録的な期間で設計、建設され、ノルトロックワッシャーによって固定されています。

安全性の目的は、人生の楽しみでもあります。私たちはスウェーデンのグローナルンド遊園地を訪ね、スリルと安全性について話も伺いました。シートベルトを締め、乗り物を楽しんでください。

本号では、突発的な事故の全てのリスクを回避するように設計された新世代のカップリングボルトの開発に関して、興味を奮い立たせる記事も記載しています。専門家から知見とその他多くのことを獲得してください。

是非、楽しんで本号をお読みください。また、末筆ではございますが体調を崩されませんようご自愛ください。

# ジェノバ橋の 再建

2018年に崩落したジェノバの橋を建て替えるために記録的な期間で新しい橋を建設することは、世間の注目を集めるプロジェクトでした。間違いは許されないため、全ての企業と納入業者が厳格に検査されました。

文章 クラウディア・フリシ 写真 ルカ・レイ/シャッターストックとニコロ・キャンボ/ゲッティイメージズ

## ジェノバ・サン・ジョルジョ橋 (VIADOTTO GENOVA-SAN GIORGIO)

開通 2020年8月3日 | 建築家 レンゾ・ピアノ

全長 1,067メートル | 幅 30.80メートル

車線数  
4(その他に2つの緊急用車線)

## フィンカンティエリ・インフラストラクチャー

企業  
フィンカンティエリ・インフラストラクチャーは、世界第4の造船会社フィンカンティエリ S.P.A.の子会社です。

本社  
イタリア、ベローナ

製品系列  
吊り橋、高架橋、アーチ橋、斜張橋、鉄道橋、塔、建造物、空港、海上工事、浮動モジュラーシステム。



ロレンゾ・サルトーリ氏  
フィンカンティエリ・インフラストラクチャー技術室責任者

2018年8月14日朝、悲劇がイタリア北西ジェノバを襲いました。猛烈な暴風雨の間、同市のPonte Morandi（モランディ橋）が突然崩落しました。橋に雷が落ちたと考えている人もいます。事故により43人が死亡し、事故は家屋や事業を破壊しただけでなく、数十年間存在してきたインフラの問題を明らかにしました。

崩落のときに撮影された動画は、ケーブルの脱離、横桁の破壊、梁の捻れ、塔の落下、最後の210メートルの中央橋部分の崩壊の後、床版の湾曲を明らかにしています。全てのことは、30台以上の車と3台のトラックの乗員が45メートル落下して死亡したとき、目撃者の悲鳴によって中断されました。

### 無視された前兆

モランディ橋は、技術的には橋ではなく、ジェノバのポルチエヴェラ渓谷にまたがる長さ1,182メートルの斜張構造の高架橋です。この橋は同市の2つの地域をつなぎ、イタリアからフランスを結ぶ道路網の一部を担っています。1967年に橋が完成したとき、鋼鉄性ケーブルのためにプレストレストコンクリートエンケーシングを利用した技術者リッカルド・モランディによる革新的な設計は、国家的な威信の源泉となりました。

しかしながら、1967年の交通量は、年に約600万でした。2000年代前半までに、交通量は4倍になり、橋は歪みを示し始めました。技術的な無知と政治的な怠慢により、前兆は無視されました。

事故の結果、政府はモランディ橋の残骸を解体し、新しい安全で信頼できる高架橋に建て替えることを約束しました。著名なジェノバの建築家レンゾ・ピアノ氏は無償でサービスを提供し、Viadotto Genova-San Giorgio（ジェノバ・サン・ジョルジョ）となる物に対する建設契約には、プロジェクトのために臨時で結成されたコンソーシアムのPERGENOVAが与えられました。

### 多くの課題に直面した建設

時間を節約するために入札過程はありませんでしたが、PERGENOVAの信用証明書は非の打ち所がないものでした。その参加企業は、イタリア最大の造船会社フィンカンティエリ SpA の子会社フィンカンティエリ・インフラストラクチャー、イタリア最大の工学的、一般的な契約業者グループのウィービルド SpA（前社名サリーニ・インプレジロ）、輸送関連のインフラに集中する国営工学企業のイタルフェアの三社でした。

フィンカンティエリ・インフラストラクチャーは、橋、港湾施設、スタジアムなど、鉄鋼を使用した複雑な工学、調達、建設プロジェクトに特化しています。その専門知識は、親会社の伝統的な造船の遺産から受け継いでいます。

安全性は橋建設において常に重要な要素ですが、ジェノバプロジェクトの状況は、PERGENOVA に対する絶対的な優先度を強調していました。納入業者と下請け業者は、第一流の信用証明書、競争的なコスト、実施の速度に基づいて選択されました。⑤



彼らは予期している課題、予期しない課題の両方に直面しました。前者の課題には、厳しい日程表と制限のある建設現場が含まれていました。以前の橋の取り壊しは、2019年6月まで続き、その際、付近の住人を考慮する必要がありました。予期しない面倒な問題には、2019年後半に始まり100日以上続いた、今世紀最大の雨期が含まれていました。その後、2020年前半にコロナウイルス襲いました。

### 多くの革新的な解決策

フィンカンティエリ・インフラストラクチャーの技術室責任者のロレンゾ・サルトーリ氏、次のように述べています。

### 「橋は、生産と組立を簡単、安全、迅速、容易に行えるように概念的に設計されていました」

橋の長さは1,067メートルあり、18個の強化コンクリート栈橋によって支持された19個の鋼鉄コンクリートスパンから構成されています。その設計は、意図的に船の船体を示しています。それは港湾都市としてのジェノバの役割と本プロジェクトの象徴的な重要性に対する承認の印を意味しています。サルトーリ氏は、会社とレンゾ・ピアノとの協力について「建築の天才と連携する、一生に一度の機会」と表現しています。

本プロジェクトのイノベーションには以下のようなものがあります。

- 完成を加速させるための多くの障害の解消
- 環境に対する影響するため昼夜を問わず照明、センサー、その他のシステムによって使用される電力を生産する太陽光発電パネル
- 長期的に建造物を脆弱にする可能性がある塩類凝縮の生成を防止するための特殊除湿システム
- 床版下面の両側に沿って絶えず移動する4台のロボット。また、それらのロボットは、24時間休まずに運営されているコントロールセンターにあらゆる異常を検査、特定、送信。

### 成功するための協力の鍵

サン・ジョルジョ橋は、建設開始からわずか15か月後の2020年8月3日に開通しました。建造物の長期的な性能を判断するには早すぎますが、その美しさ、機能性、象徴的な重要性は、疑う余地のないものです。サルトーリ氏は、プロジェクトは「全力を尽くした多くの経験を持つ非常に大きなグループのための個人的、専門的な経験であり、あらゆる人が共通の目標に向かって取り組んだときに達成可能なことを示した」と述べています。



以前の橋の残骸は、新しい橋の建設のために取り壊される必要があった。

## TECHNICAL INSIGHTS

# 象徴的な橋のための ウィニングウェッジ



ルカ・ゲッド  
ノルトロックグループイタリ  
アゼネラルマネージャー



フランク・ゲッツ  
ノルトロックグループインダストリー  
マネージャー

2019年8月にノルトロック S.r.l.のゼネラルマネージャーのルカ・ゲッドとフィンカンティエリ・インフラストラクチャーの技術室責任者のロレンゾ・サルトーリ氏が出会ったとき、その課題は極めて困難なものでした。

ジェノバで計画されていた新しい橋には、動的荷重、交通振動を含む応力を受けている状態で緩まないボルトが必要でした。

その上で、それらのボルトは設置後に頻繁に検査や増し締めはできなくなります。そのため、ワッシャーは沿岸部環境のアクセスの困難な高架の状況において信頼できるものでなくてはなりません。彼らが決定した解決策は、各ボルト締結体を固定する為には、摩擦に頼るのではなく、張力を利用するノルトロックワッシャーを使用することでした。

ノルトロックワッシャーは、イタリアの商業港ジェノバの過酷な環境条件における耐久性が裏付けられた高い耐食性を提供します。これらの結果は、1,000時間以上のISO 9227塩水噴霧試験によって実証されています。

ノルトロックグループの建築および鉄骨構造のEMEAインダストリーマネージャーのフランク・ゲッツによると、欧州建設規制(EN 1090-2)の過酷な規格に適合していないのではないかと心配し、ワッシャーの使用を躊躇する技術者がいるということです。

しかしながら、ノルトロックワッシャーは実際にはこれらの規格に適合しているだけでなく、安全性を向上させ、ライフサイクルコストを低減します。

サルトーリ氏は納得し、特定の機能性に基づいて、ノルトロックワッシャーが選択されました。一組は、床版端の枠と橋の傾斜路の固定に役立ちます。そのウェッジ設計は、橋と傾斜路が強力な振動や変動荷重特性にさらされた場合でも、ボルトがひとりでに緩まないことを保証します。

一組の鉄骨構造ワッシャーは、個別に鉄骨構造とHV/HRセットでの使用に特別に設計されています(軸力に対応した高強度構造ボルト締結組立品)。それらのワッシャーは、VDC (vehicle dynamic control) ロボットが異常を発見し、報告するために床版下面を巡回している橋の足場で見つけることができます。

フィンカンティエリ・インフラストラクチャーは、ワッシャーの仕様だけでなく、必要な説明、技術的な支援、時間通りに納品を提供するノルトロックの速度にも満足していました。最初の発注は、2020年1月に納品されたと、ゲッドは振り返ります。ノルトロックグループは、重要で要求の高いプロジェクトで決定的な役割を果たせたことを嬉しく思います。



# 復元力の高いインフラは、災害から私たちを守れるのか？

文章 ウルフ・ウィマン 写真 テレンス・リージー/ゲッティイメージズ

国際災害データベース (EM-DAT) は、災害を恐れる人のためのものではなく、人類の苦悩、環境破壊、経済的損失を謳ったものです。そのデータベースは、1900年以降の22,000件以上の世界的な大規模災害を一覧化し、記載しています。洪水、台風、地滑り、干ばつ、地震、熱波、野火を含む自然災害があります。

それに加え、難破、墜落事故、火事、爆発、鉱山の崩落、鉄道事故などの「人」災があります。さらにはディスコへの殺到などについても記載されています。

## 増加し続ける災害数

当然のことながら、多数の災害があることを考慮すると国際的な災害リスク低減の日もあります。その日は、「リスク意識と防災を推進する」ために国連によって組織され、1989年10月13日から毎年実施されています。

国連防災機関 (UNDRR) は、2020年にこのイベントと関連して、「災害の人的コスト: 2000年-2019年の過去20年間にわたる概要」という報告書を公開しました。国連事務総長特別代表、国連国際防災戦略事務局代表の水鳥真美氏は、

多くの自然災害と人災の両方の増加が、重要なインフラに一段と過酷な負荷を掛けています。技術者は、より復元力のあるものにする際に不可欠な役割を果たすことができ、世界中の社会に恩恵を与えることができます。

ベルギーのルーヴァン・カトリック大学健康社会研究所、災害疫学研究センター教授デバラティ・グハ・サピール氏と共にその序文で次のように述べています。

「新しい世紀になってから20年が経過し、年々、災害リスクが新たな形と規模で出現してきています。災害が順番待ちの様に規則的に起こることは無く、そのリスクは相互に関連してきています。リスクの促進要因と結果は、予期しない形で倍増、連鎖、衝突が起こります。」





水鳥氏とグハ・サピール氏は、次のように続けます。「本報告書では、過去20年間にわたる気候関連の災害の驚異的な増加に主な焦点を合わせる一方で、環境的、技術的、生物学的危険とリスクを含む、自然災害と人災を網羅した災害リスク管理を強化する必要性についても解説しています。」

### 災害からの復元力を強化する必要性

気候関連の災害には、気象学的、気候学的、水文学的な災害が含まれます。21世紀の最初の20年間、これら全ての災害数は倍増しました。7,348件報告されている災害の大多数が洪水、それに次いで嵐です。災害は123万人の死者をもたらし、403万人に影響を与えたと見積もられています。世界的な経済損失は、2兆9,700億米ドルになると推定されています。

UNDRRは、世界中の多くのイニシアチブと組織と共にその転換に取り組んで

います。その一例が、仙台防災枠組み2015–2030です。

この枠組みは、「災害への暴露と災害に対する脆弱性を防止、低減し、対応、復旧、それによって復元力を強化するための態勢を向上させる、総合的で包括的な経済的、構造的、法的、社会的、衛生的、文化的、教育的、環境的、技術的、政治的、組織的な対策の導入を通じて新たな災害リスクを防止し、既存の災害リスクを低減すること」を目指しています。

行動に対する4つの優先事項は、次のように記載されています。

1. 災害リスクの理解
2. 災害リスクを管理するための災害のリスク管理の強化
3. 復元力を得るために防災への投資
4. 効果的な対応のため、復旧、修復、再建において「より良い復興」の下に災害に対する態勢の強化

人命と同時に生活、健康を守ることも最優先事項です。重要なインフラとサービスに対する災害による損害を低減することも非常に重要です。

### 社会を結合させる重要なインフラ

重要なインフラは、現代社会を結合し、機能させる接着剤のようなものです。道路、鉄道、橋、トンネル、上下水道、配電網が機能しなくなったら、大きな混乱が生じることは容易に想像できます。そして、インターネットや電気通信が利用できなくなった世界を想像してみてください。その破壊的な可能性はどのようなものでしょうか？ 🔄

# 4:1

インフラ適性に投資された  
1 米ドルごとに対して、  
4 倍の見返りが推定され  
ています。

# 4 億 7000 万

現在の 2 億 5,500 万から増加して、2030 年までに極度の洪水に関するストレスに直面すると予測されている 45 都市にいる人数。

## 復元力

リスク管理を通じた不可欠な基本構造と機能の保存と復旧を含む、時間通りの効率的な方法で危険の影響に抵抗し、吸収、順応、適応、変換、復旧する、危険に暴露されたシステム、共同体、社会の能力。

## インフラの復元力

抵抗し、変化する条件に適応し、衝撃、ストレスから肯定的に復旧する能力。

出典: resilienceshift.org と undrr.org

# 94 兆ドル

世界的なインフラ不足は、2040 年までに推定  
94 兆ドル世界的なインフラを確保する必要がある。

# 6,500 億ドル

気候関連の災害では、過去 3 年間にわたって世界で  
6,500 億ドル以上のコストが発生。

ロイド・レジスター・ファウンデーションと専門サービス企業 Arup によって結成されたイニシアチブ、ザ・レジリエンス・シフトは、「かつて無い程多くの人々が、世界人口の増加、地方から都市圏への移行を原因として、社会的なインフラによって提供される重要なサービスに依存するようになってきました。これらのインフラシステムのいずれかが機能しなくなった場合、公衆安全、福祉、環境、経済に対する結果は壊滅的なものとなる可能性があります」

**2050 年までに世界人口の約 70 パーセントが、都市で生活するようになると推定されています。そのため、都市における人口増は段階的に拡大している課題です。**

ザ・レジリエンス・シフトは、予測と動揺の回避が困難で、重要なインフラにストレスを掛けることで、気候変動とサイバー攻撃は、本当の脅威を生じさせると指摘しています。「予測可能な脅威に対する態勢を整え、社会が依存している絶対に必要なサービスを提供し続けるようにするため、予期されていないことに対応することは、インフラにとって不可欠なことです」

## 重要な役割を果たす工学

復元力のあるインフラの構築は、計画、融資、設計、運用、保守を含む、様々な要素を持つ分野です。

様々な工学分野の下位区分は、安全な持続可能で復元力のある解決策の構築、後付けにおいて重要な役割を果たすことができます。

重要なインフラを計画、設計をする場合、工学は潜在的な危険性から災害が襲ったときの対応、適応、余波への跳ね返りまで、より幅広い全体像を考慮しなければなりません。

ザ・レジリエンス・シフトは、「インフラそのものからインフラの役割を考えること」に移行することを推奨しています。「私たちは特定した設計上の範囲内でフェイルセーフシステムを構築するのではなく、限定条件で間違いなく停止し、迅速に復旧できるシステムを開発し、運用する必要があります。」と続けます。

## 将来的な世代のための基礎

私たちが発展するにつれて、技術者は持続可能で安全な復元力のある重要なインフラの設計、生産、維持において更に重要な役割を果たすようになってきています。その際、彼らは将来を担う世代のために適切に機能する社会の基礎の構築、保護に貢献します。また、彼らは世界中の持続可能な開発にも貢献します。

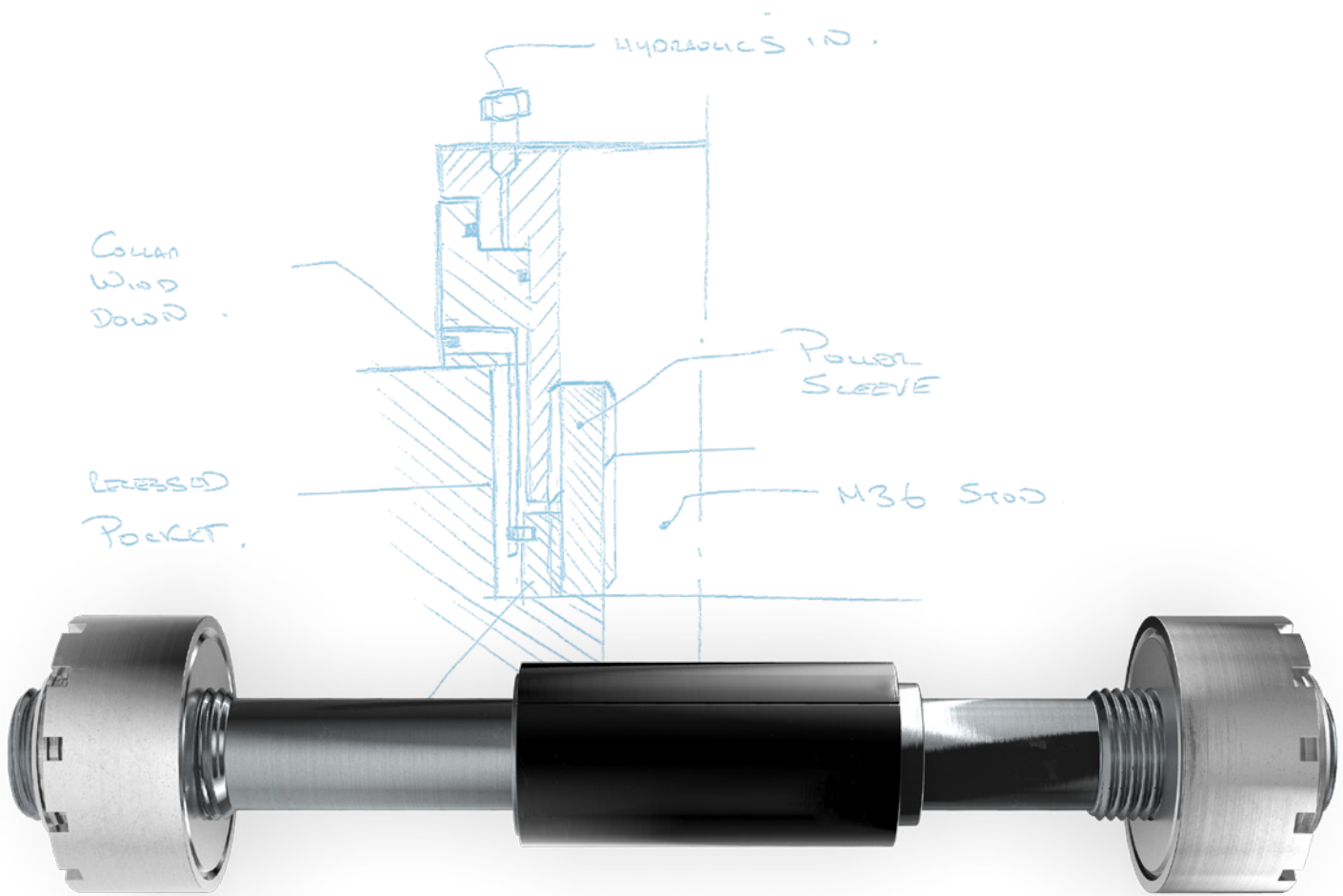
14 ページのテーマ記事では、信頼性と復元力のための設計に関する詳細を読むことができます。



# 白紙の答案から新世代 カップリングボルトへ

スティーブ・ブラウンは、イギリス・マンチェスター外にある生まれ故郷の、ある企業のためにカップリングボルトに取り組むことで自身のキャリアを開始しました。

30年後、彼は幾つかの安全性に関する問題を解決する新世代のカップリングボルトの設計を経て、生まれ故郷に戻ってきました。➤



「今何をすればいいかわからない時、あなたはどうしますか？」

それは、経験豊富な技術者のチームが新世代の油圧式カップリングボルトの設計に着手した時の心構えです。

その結果は？ スーパーボルトハイフィットです。

文章と写真 ヨルゲン・リンドストレーム

「私たちに最初から多くのアイデアがありましたが、次のように言いました。いいえ、私たちはその方法では行いません。それは以前に既に行われています。白紙から始めましょう」と、ノルトロックグループ、エクспанションボルト、グローバルプロダクトマネージャーのスティーブ・ブラウンは言います。

当初の第一の目標は、ユーザーにとっての手順を容易にするだけでなく、はるかに安全にする油圧式カップリングボルトを設計することでした。

「固着したカップリングボルトを見て、取り除くために必要なものが分かったとき、関係者は頭痛とストレスを感じます。私たちは、それを軽減する解決策を本当に必要としていました」とスティーブ・ブラウンは言います。

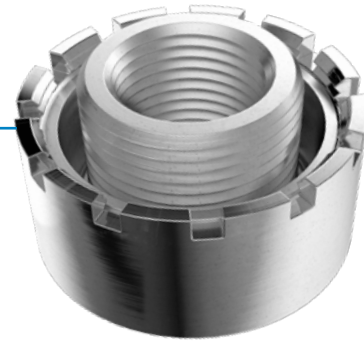
彼と技術者の同僚は、一般的な油圧式カップリングボルトの主要な課題を十分心得ていました。その一つは、高速回転するアプリケーションではナットの厚みを超えるねじの突き出し量を確保することが難しいとのことでした。

「蒸気タービンまたはガスタービンは、3,000または3,600 RPMで回転しているため、機械が作動しているときに何かカップリングから突き出ている場合、途方もない量の乱気流が生じます」とスティーブ・ブラウンは言います。

従来の方法は、油圧テンショナーにかみ合わせるねじがない問題を解決するために、メインボルト自体に一時的にねじ込まれるプラーと呼ばれる、別途のボルトを使用します。当然、このねじ込まれるボルトの外径は、メインボルトよりも小さいため、その大きさに対しては高い荷重が掛けられることとなります。

「私たちは、ボルトから外れ突発的な事故を引き起こすリスクがあるために従来のめねじ付きプラーを避けたいと考えていました」

その解決策は、ナットの内側ではなく外側に油圧テンショナーを取り付けることを可能にするおねじ付きのナットを設計することでした。



「スーパーボルトハイフィットはより大きな外径を持ちながら、同じ接触断面積を持っているため、ねじの噛み合いの長さを減らすことができます。また、必要以上のねじの噛み合い長さが確保できることで安全性に関する既存の課題を改善し、ナットに全荷重を掛けることができます」と、スティーブ・ブラウンは説明します。

彼はこの解決策に満足しているにも関わらず、その手順をさらに安全にできると感じていました。従来の方法は、スリーブの拡張と軸方向の張力という 2 つの異なる作業圧力を使用します。同じテンショナーヘッドが両方の手順で使用されます。

「私たちは、誰かが誤って間違った圧力を使用することを防止する方法を見つけたいと考えていました。そのとき、突然次のようなことが思い浮かびました。大きさが異なる 2 つのテンショニングヘッドがあったら、間違うことなく 1 つの作業圧力のみを使用することが可能になるということです」

その鍵は、カップリング穴の内側でスリーブを拡張させる時にはボルトタイト油圧ナットを、軸方向に荷重を掛ける時にはボルトタイト油圧テンショナーを使用することでした。

ボルトタイト油圧テンショナーはボルトタイト油圧ナットよりも大きいいため、お互いに間違って使うことができません。

つまり、設計の異なる 2 つのテンショニングヘッドにより、作業が 1 つになることから圧力を間違うことなく誰でも安全に作業することができます。

「今となっては単純なことに聞こえますが、以前にそのことを思い付いた人はいないと思います。そのアイデアを思い付いたことに満足しています。何故なら、それは手順において完全な安全性を提供するためです。誰かが誤解するようなリスクはありません」と、スティーブ・ブラウンは言います。

実際、カップリングボルトを取り外すための内部ブラーやさらには注油すら必要ありません。それは、従来の方法と比較した場合、安全性の観点からもう一つの重要な改善です。アメリカ・ピッツバーグ、イギリス・ウォルソル、スイス・ザンクト・ガレンカッペルのノルトロックグループの各拠点における技術者が、プロジェクトに参加しました。

「スイスとイギリスでは多数の会議があり、スーパーボルトハイフィットの設計に関する多くの反復作業が行われました。当然ながら、コロナウイルスがそれを中止させました。私たちは、製品設計のこの最終段階に到達するために、オンライン会議での議論、計算、分析に多くの時間を費やしました」と、スティーブ・ブラウンは言います。

スティーブ・ブラウンは、最近ボルト締結に関わってから 31 年目を迎えた、オーストラリアを拠点とするイギリス人です。彼は、イギリス・マンチェスター外にある生まれ故郷の町のある企業のためにカップリングボルトに取り組むことで自身のキャリアを開始しました。

「私は元の場所に戻ってきたように感じています。私は油圧カップリングボルトを扱い始め、現在では完全な新世代のカップリングボルトの設計に関わるという栄誉を得ました。それには、かなりの達成感があります」





DESIGNING FOR  
**A SAFER  
WORLD**

## 信頼性はどのように技術者が競合する要求のバランスを取ることに貢献するのか

自然災害は、恐らく 21 世紀を定義付ける象徴と見なされるでしょう。オーストラリアの熱波からアメリカ西部の山火事、カリブ海のハリケーン、東南アジアの洪水まで、人類への影響は容赦のないものです。その影響は、信頼性の低い建物、施設、インフラによって潜在的に悪化する可能性があります。

構造技術者と機械技術者は、この種の予期せぬ出来事に合わせて計画する必要がありますが、それと同時により安価でより軽量、より騒音を出さない製品に対する要求に直面します。エンジニアがこうしたプレッシャーを受けている中、信頼性の余地を見つけることを現実的に期待できるでしょうか。

矛盾する要件に直面する技術者は今に始まったことではないことを一歩離れた所から観察し、理解することが不可欠です。要求はかつて無い程高まっているように見えますが、これは必ずしも劇的な変化という訳ではありません。

### より良く、より迅速に、より安価に

フレッド・シェンケルベルクは、20 年以上にわたり信頼性に取り組み、指導を行う信頼性技術者、コンサルタントです。彼は、この状況はそれほど抜本的な脱却ではないと説明します。「私は、より良く、より迅速に、より安価にしたいと考えています。それが変化したことはありません。しかしながら、それが加速したとは言えます」

### 「しかし、それは競合する要求の間でバランスを取り、それを満たすための工学の技法です」

「設計チームには、原価目標、製品を販売する日程、機能性の目標があるかも知れません。これらの目標には、設計工程の間、多数の測定値と優先事項が与えられます。私は、信頼性の専門家として信頼性能の考慮事項が設計の全段階で見えるようになっていることを確認したいと考えています」

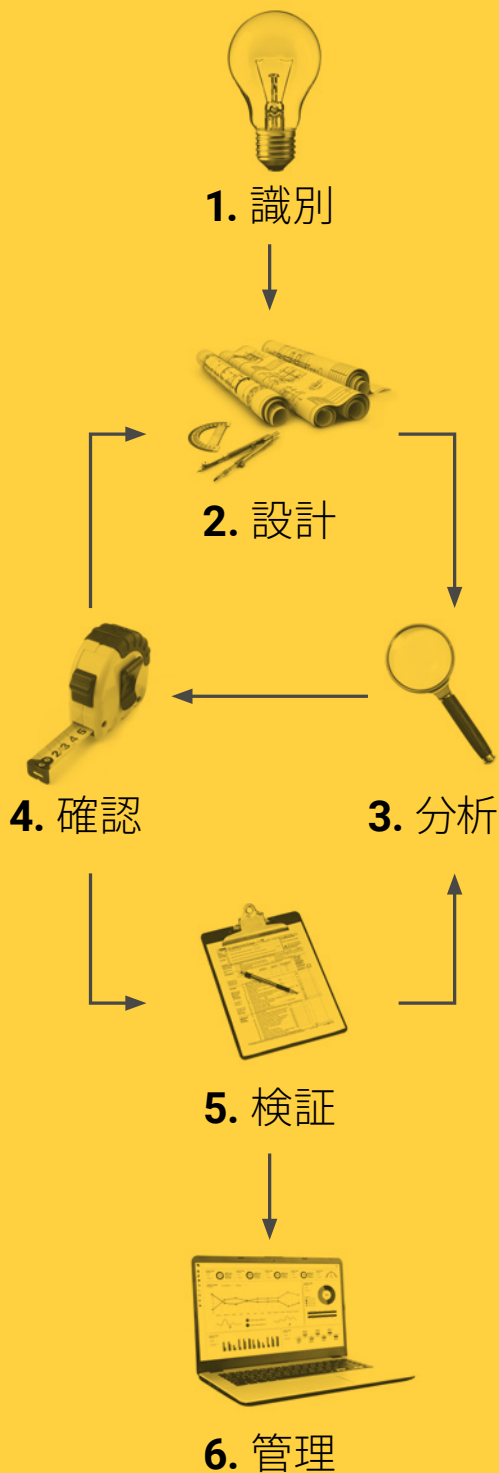
この可視化が奨励されてきた方法の一つで、信頼性工学において開発された多くの手段と方法を集約する信頼性のための設計です。

### ライフサイクル全体にわたる信頼性

信頼性のための設計 (DfR) は、構想から陳腐化まで、ある製品のライフサイクル全体にわたる信頼性を裏付けるための段階的な工程です。これは、DfR が信頼性の専門家向けの指示事項ではないことを意味します。それは組織レベルで考案、応用され、製品の設計、製造、保守に関する指針を提供しているため、潜在的に企業のあらゆる部分に関連する可能性があります。

DfR を補強する基本原理があるとしたら、それは決定の時点で発生する信頼性です。その点を考慮して、物理的な生産が行われるずっと前に信頼性が考慮されなければなりません。⊙

# 信頼性の主要作業のための設計



これを実施するには、信頼性とは何かを適切に理解する必要があります。機械工学において、信頼性とは一定の期間、一定の条件下で意図された機能を発揮する、ある項目の確率を示します。

この信頼性に関する一般的な理解を身につけると、あなたの製品の信頼要件を特定し、定義できます。その要件は、恐らく顧客の期待に類似しているか、または全く同じものです。その要件が明らかになったら初めて、それらを満たす製品の設計を開始すべきです。

## 万能ではない

DfR に対して普遍的に受け入れられているモデルはありませんが、その概要は多くの場合、隣の表に示されている次の基本手順を含んでいます。

しかしながら、それは一方通行の工程ではありません。それは、市場に製品を届ける準備を整える前に、設計、分析、確認の各段階を何度も再考することが求められています。これらの段階では、製品の脆弱性、許容範囲、および堅牢性を明らかにするツール、テスト、およびプロセスがいくつも存在する可能性があります。シェンケルベルク氏は、次のような DfR の簡潔な要約を提供しています。

「これは、意思決定を行う人々（技術者、エンジニア、管理者）が信頼性の影響を完全に理解できるようにする一連のルール、ガイドライン、およびアクティビティです。」

「しかし、それは手段や作業に関して、変化せず一定なものではありません。あらゆる状況、製品、用途が異なります」

## 価値を付加するために一歩離れた所から観察する

これらの違いは、官僚主義的な訓練として DfR を扱うことが問題を引き起こすことがあるため、非常に重要です。

「1 つの落とし穴は、会社が『我々の最新製品は非常に優れている。それは我々の信頼性の期待とお客様の期待ですので、最後にやったことはすべて繰り返しやりましょう』とってしまう事です。次の製品では、様々なアプリケーションや目的があり、別の顧客のためとなる可能性があるため、そそうしたことは危険な事です」と同氏は説明します。

「あなたは最後に次のようなチェックリストの考え方に行き着くことになります。私たちは 2 つの試験を実施します。2 時間、振動させたら終了です」しかし、あなたはそうするこ



フレッド・シェンケルベルク  
信頼性技術者とコンサルタント



とで実際に価値を付加しているのでしょうか？あなたは一歩離れた所から観察し、将来発生する可能性がある問題を発見するための試験について考える必要があります。あなたは将来の問題を発見するために、失敗を受け入れるという、設計者が避ける場合が多いことをする必要があるかも知れません。

### 失敗の利点

障害発生時点までの製品の試験は、信頼性を調査するための有効な手段になります。しかしながら、それは典型的な設計原理と衝突する可能性がある方法です。

「設計者と技術者は通常、ある項目を作成する工程において失敗を避けることを念頭に置きながら設計します」と、シェンケルベルクは次のように続けます。

「信頼性工学ができることは、失敗をより見えるようにすることです」

「失敗から学習する能力を持つことは重要です。製品が機能することを証明するために、試験を実施する人が多すぎます。彼らは、合格すると期待される条件で試験を実施しますが、まだ分からないことを見つけ出そうとする場合、失敗させるために実施する必要があります」

「こうすることで、失敗の性質、それがどのように現れたか、そしてどのような応力が組み合わさってその失敗を生み出すかを知ることができます」

潜在的な失敗を引き出すための一つの方法は、HALT 試験 (Highly Accelerated Limit Test) です。それは、DfR の段階を確認し、検証するための一部として利用できます。

### 真の信頼性の理解

「発見工程として HALT を考えています」と、シェンケルベルクは言います。「あなたの用途にとって有意義な異なる応力の範囲を使用し、強制的に故障するまで

応力を増加させます。製品が期待される応力水準で故障するか把握し、それに基づいて許容範囲に関する決定を下すことができます。同様に重要なことですが、失敗の方法など、失敗の性質も把握できます」

学者と専門家は、建物、施設、インフラが気候変動やその他の大惨事の結果に直面する可能性がある潜在的な応力の一覧を作成しました。これらの出来事は、技術者に新たな要求を課しています。変化しているのは、その直面する規模と応力の組み合わせです。

シェンケルベルクが示唆するように、失敗を探ることで、製品の本当の信頼性と堅牢性を把握し、予期せぬ出来事に抵抗するための能力をより完全に理解できるようになります。

文章 プライアン・クローリ氏 | 写真 エヌテック/シャッターストック

# ノルトロックグループと共に信頼できるボルト締結体を設計すること

失敗の潜在的な原因を発見することは、ノルトロックグループが実施している多くの試験手順の一つです、とヨーロッパのテクニカルマネージャーのシリル・カドゥは説明します。

「私たちが、失敗することを目的としてボルト締結された接続部に対する試験を実施することは滅多にありません。何故なら、私たちに破損部品による根本原因を判断するための正確な知識があるからです。単純に最初の数千のサイクルを見ることで、私たちにその傾向に関する正しい兆候が分かります。私たちはそうすることで、製品の信頼性において生涯保証を提供するための知識と自信を得ています」と、彼は言います。



シリル・カドゥ

ノルトロックグループヨーロッパ  
テクニカルマネージャー

「しかし、孤立状態の製品を観察して、その堅牢性と信頼性を確認するだけでは十分ではありません。私たちはボルトとワッシャーが使用されている環境で試験します」

「私たちは顧客と相談し、用途を発見し、それに基づいてより詳細な分析を実施します。私たちは可能な限り多くのデータを取得した後、状況を再現します。3次元の製図または図面から全てを得られないこともあるため、私たちは必要に応じて個人的に作業場に出向きます」

「それは、私たちが単にノルトロックの製品だけでなく、実際にはそのボルト締結された接続部を試験しているということの意味です。私たちは顧客に適切な助言を提供するために分析、シミュレーション、社内ツールを結集させています」と、カドゥは締めくくります。

詳細をご希望ですか？安全なボルト締結された接続部の設計原理に関する英語版のホワイトペーパーは、次のサイトからご覧頂けます。[www.nord-lock.com/safe-bolts](http://www.nord-lock.com/safe-bolts)

私たち全員が、平らな道路、轍のない舗装、自宅や職場で水、電気、ガス、通信を利用できることを当たり前のことのように考えていますが、道路とこれらの不可欠な地下ネットワークを敷設するショベルカーに（その煩わしい騒音を除き）注意を払う人はほとんどいません。

# エクspanダー・システムは、ショベルカーの長寿命化を実現します

文章 クリスティーナ・マッケンジー 写真 トーマス・デスマージャー

パリからジュネーブまでに至る道のりの 3 分の 2 を超えたあたりにある、フランスブルゴーニュ地方モンシャナンは、250 人の従業員を擁する好調な同族経営の中小企業 パスカル・ギノー TP (TP は、Travaux Publics または公共事業を意味) の本拠地です。1993 年に設立された同社は、基礎を掘るだけでなく、内部のドライネットワーク (電気、暖房、通信) とウェットネットワーク (上下水道) を敷設し、埋め戻し、道路を補修しています。同社は、土木作業、道路の敷設、舗装、屋外駐車場の建設だけでなく、例えば前庭の造成を希望する個別の顧客の要望にも応えています。

## コストと時間を費やす修繕

「私たちの顧客は、自治体、中小企業、企業団体、そして時折の個人顧客です」と、会社の保守ワークショップを担当するトーマス・デスマージャー氏は言います。

パスカル・ギノー TP は、こうした作業を実施するために約 800 台の異なる機械を保有しています。それらの機械には、年当たり 45 週間使用されている 70 台のショベルカーとミニショベルカーが含まれています」と、デスマージャー氏は言います。「私たちは、ニューホランド、リープヘル、キャタピラー、JCB、メカラックなどの様々な異なるブランドのショベルカーの約半数を自社保有しています」と、彼は説明します。「他は保守契約を含む、購入選択権付きリース契約です。そのため、

私たちがそれらを保有する頃には、これらの車両は 10 年で耐用年数の中頃に到達し、保守契約でカバーされなくなります。その時には、自社で保守を始めなくてはなりません。5 年間使用されてきたため、それらの車両には大規模な修理が必要です」

これらのショベルカーで最も摩耗を受ける部品は、ブーム、アーム、バケットですが、主要な問題となるのがアームのピンです。「アームが少しぐらぐらするようになると、オペレーターにとって制御が難しくなり、正確に掘ってすくい上げることができなくなります」と、デスマージャー氏は説明します。そのぐらつきは、可動部のピンが摩耗し、ラグでぴったりと固定されなくなることから来ています。「過去には、部品の分解、肉盛り作業、円筒加工を行った後に全てを元に戻す必要がありました。それは、機械を最低 1 か月間は稼働できないことを意味しました。稼働させなければ、機械でお金を稼ぐこともできません」と、彼は付け加えます。「その作業で最もコストが掛かる部分は、機械加工です。何故なら、自社でその作業を実施できず、かなりの金額が掛かるためです。単一のピンだけで 2,000 ドル掛かることもあります」と、彼は述べます。

## ダウンタイムの短縮

ギノー TP に入社する前、デスマージャー氏は既にノルトロックグループのエクspanダー・システムを熟知していました。

「私は 20 年以上もこの業界に携わっているため、ノルトロックグループの製品について知っていました」と、彼は微笑みながら言います。そのため、彼はエクspanダー・システムのテクノロジーがこれらのショベルカーのダウンタイム短縮に対する解決策になるのではないかと提案しました。「私はノルトロックグループに連絡し、私たちの問題について話し合い、ある解決策を得られました」

彼のワークショップでは、予防的保守を実施しているため、作業依頼の閑散期となる 2 つの主要時期 (天候を理由とした 1 月と 2 月、多くの人が休暇を取る 8 月) の間、ショベルカーを迅速に修理できます。「そのため、オペレーターがピンの緩みを感じ始めたとき、私たちは全ての必要な対策をとり、ノルトロックグループに連絡すると、彼らが解決策を提供してくれます。私たちは 3、4 年間、エクspanダー・システムを使用してきた、ノルトロックグループから常に対応策とフォローアップを得ています。彼らは非常にプロフェッショナルです」と、彼は言います。

**「私たちの目的は、機械寿命を延長し、そのコストを低減することです」と、彼は言います。**

「現在、私たちの機械のダウンタイムはエクspanダー・システムによって、約 70%、約 10 日にまで低減され、多額のコストを抑えることができました」と、デスマージャー氏は強調します。

## TECHNICAL INSIGHTS

ショベルカーのブーム、ディッパーステム、バケット、油圧シリンダーの接続部は、可動部の摩耗による影響を非常に受けやすい箇所です。従来の修理方法には、コストと時間が掛かり、機械の耐用年数に幾度と繰り返さなければなりません。エクスパンダー・システムは、この問題に対する永久的なソリューションです。

エクスパンダー・システムは、両側がテーパ加工されたピン、2つのエクスパンションスリーブ、2つのテンションワッシャー、2つの締結体から構成されます。ピンを差し入れて両端のボルト/ナットを締め付けると、ワッシャーが拡張スリーブをピンに押し込むことでスリーブが拡張し、可動部に圧着し、所定の位置にシステムをロックします。一定稼働後増し締めが行われると、システムは両側からロックし、大幅に安定性を高めます。テーパ加工された軸は、従来のストレートピンと比較して、取り外しと再設置を容易にしています。

### あらゆる機械に対応した幅広い製品範囲

パスカル・ギノー TP のショベルカー全車両は、様々なメーカーによって構成されているため、そのピンは全て同じではありません。あるピンの交換が必要になったとき、全てのワークショップマネージャーが実施することは、エクスパンダーウェブショップで用意されているオンライン寸法シートにピボットデータを入力することです。その後、ノルトロックグループの技術者は、彼らに解決策を提案します。ギノーは、2019年に30個以上のピンと予備部品のために8件の発注を行いました。



**顧客**  
パスカルギノー TP

**所在地**  
モンシャナン、フランス

**ビジネス**  
公共事業と土木建築

**用途**  
ショベルカーアーム

**解決策**  
ノルトロックグループ  
エクスパンダー・システム

**結果**  
機械寿命の延長、コスト削減、ダウンタイムの削減



**トーマス・デスマージャー**  
パスカルギノー TP のワーク  
ショップマネージャー

# ピボット摩擦に影響する要素



マティアス・オロフソン  
ノルトロックグループエキスパンダー  
部門プロダクトマネージャー

ボルト締結やピン摩擦に関する質問がございましたら、experts@nord-lock.com お問い合わせください

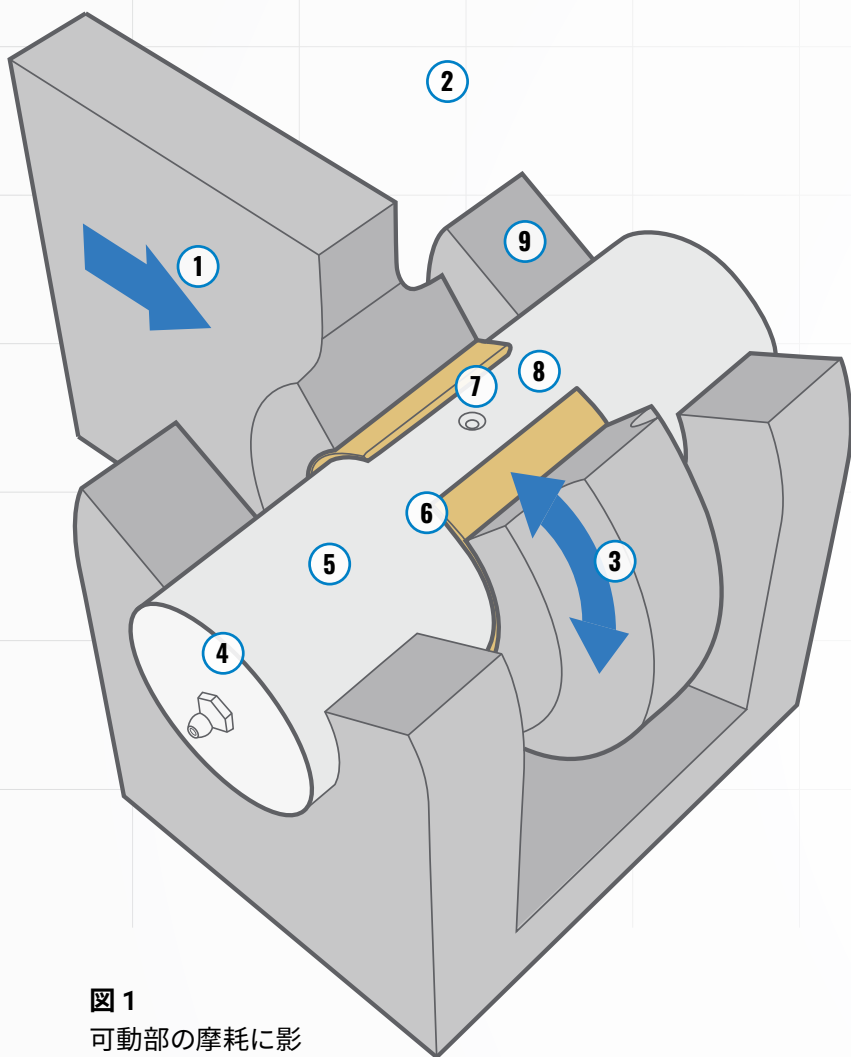
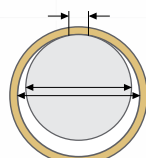


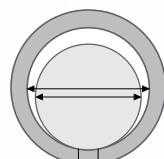
図1  
可動部の摩擦に影響を与える要素

- ① 荷重
  - 稼働時間
  - 繰り返し数
  - 方向
- ② 環境
  - 温度
  - 粉塵
  - 湿度
- ③ 回転運動
  - 速度
  - 距離
  - 繰り返し数
- ④ 軸 (ピン) 材料
  - 材料選定
  - 機械的特性
  - サイズ
- ⑤ 軸 (ピン) 表面
  - 硬度 & 深さ
  - 粗さ
  - 処理
  - 腐食特性
- ⑥ ベ어링 (軸受け)
  - 材料選定
  - 機械的特性
  - 潤滑剤給脂
  - サイズ
- ⑦ 潤滑
  - 組成
  - 粘度
  - 量
  - 頻度
  - 固体潤滑剤インレー



ピン軸受接触域

- ⑧ 摺動面積
  - 受圧面積
  - 穴&ピンの許容公差/ギャップ
  - ピン・軸受 (プッシュ) 受圧面積



ピン可動部接触域

- ⑨ ラグ
  - 機械的特性
  - 受圧面積
  - 穴&ピンの許容公差/ギャップ
  - サイズ
  - ピン-ラグ受圧面積

機械メーカーにとって、永遠の課題である、可動部の摩擦を最小限に抑えるために考慮すべき要素は多岐に渡ります。

可動部の摩擦は、軸受け、ピン、ラグ摩擦の集約です。また、それに影響を与える多くの要素があります。機械メーカーにはこの摩擦を最小限に抑えるために複数の設計の選択肢がある一方で、簡単で効率的な方法で稼働時間とサービス費用を最適化したいと考えているエンドユーザーにとっては、それよりも少ない選択肢しかありません。現時点では、荷重、可動部のサイズ、速度、稼働頻度、機械が稼働している場所の環境に関してできることはほとんどありません。しかしながら、次のようなことは改善することができます。

- 潤滑剤が使用されるかどうかと潤滑剤の使用方法
- 軸と軸受けに使用される材料の種類、硬度、表面仕上げ
- 可動部内での軸の固定

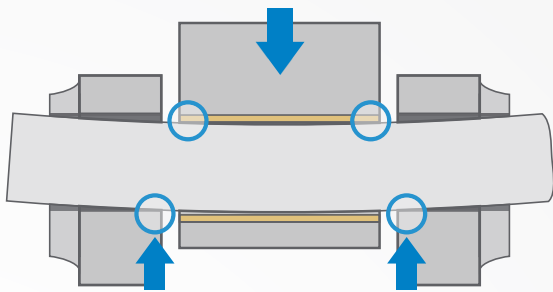


図 2 従来のストレートピン

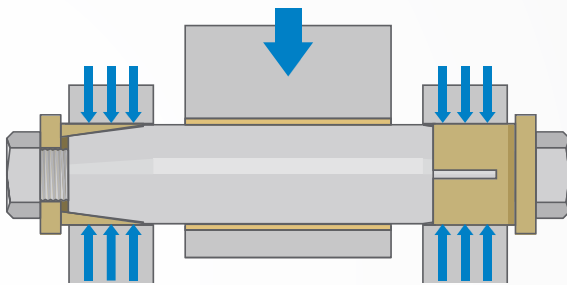


図 3 エクspander・システム

### 最小限の曲げ応力

可動部の摩耗に最も影響を与える要素は、荷重/応力、またそれらの荷重が加わる受圧面積です。圧力が十分に高い場合、世界中を見ても軸受け、軸（ピン）、ラグのいずれかに対して永久的な損傷を抑止出来る潤滑、材料、硬度はありません。荷重が同じ状態に留まり、作用する面積がより小さくなる場合、圧力は上昇します。可動部に荷重を掛ける時、軸（ピン）は軸/ベアリング、軸/可動部の接触面積を変化させるのに十分な程度、わずかに屈曲します。可動部に低い荷重が掛かっているとき、その荷重はベアリングと可動部の全長に分配されます。軸が荷重の増加に合わせて屈曲するとき、受圧面積が減少し、圧力は上昇します（図2）。

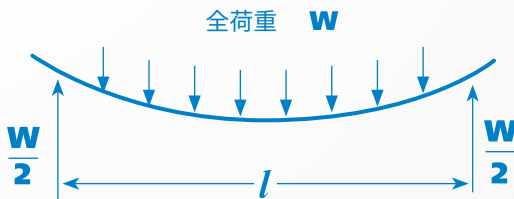
圧力がどの程度変化するかは、ピンの荷重、長さ、直径だけでなく、軸受けの機械的特性に依存します。より弾性的な軸受けは、塑性（永久）変形、応力再分配など、特定範囲への荷重分配に寄与します。

### 軸固定の利点

軸（ピン）がどの程度屈曲するかは、それが末端で支持されている、またはされていないかに依存します。可動部の底部からのみ支持される従来のストレートピンは、固定されておらず、単純な支持梁のように屈曲します。エクspander・システム（図3）は、可動部内に固定され、両端固定梁のように屈曲します。

軸末端の固定は、ピンの自由な半径方向の移動を軸受けと軸間の隙間のみに制限します。これは重力加速度、軸受けとピンに掛かる高い衝撃力の制限に寄与します。エクspander

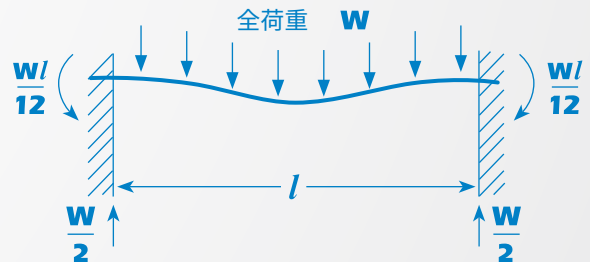
モデル：  
従来のストレートピン  
荷重ケース：単純支持梁  
軸の末端は、挿入に必要な公差が要因となり、底部からのみ支持されています



最大荷重作用点  $l/2$

$$\delta_{\max} = \frac{5 W l^3}{384 E I}$$

モデル：  
エクspander・システム  
荷重ケース：両端固定梁  
軸末端は、拡張するスリーブによって可動部内に固定されています



最大荷重作用点  $l/2$

$$\delta_{\max} = \frac{W l^3}{384 E I}$$

図 4 初期の荷重ケース例

エクspander・システムは、可動部の摩耗を解消し、軸受け/軸の摩耗を低減します。

# 遊園地の安全性: 何も成り行き任せにしない

遊園地のアトラクションに関しては、安全性が絶対的に重要です。ただし、その保守にはコストと時間の両方が掛かる可能性があります。しかし、その問題を解決する摩耗した軸とベアリングに対する解決策があります。それも永久的に。

それを楽しみ、いくらあっても十分でないと考える人がいます。また、それほどそれを必要としていない人もいます。スリルまたは恐怖に関して、遊園地のアトラクションは、多くのことを網羅しています。

80メートルの高さからの自由落下、高速での上昇下降からヘアピンカーブへの移動、途方もないG力に自身が曝されることまで、あらゆることを経験できます。しかし、そのことを直視してみましょう。安全性に依存できなければ、行き過ぎることになります。

ほとんどのアトラクションは、大きな物体を高速で移動させているため、巨大な力が作用しています。ほとんどの場合、その力は鉄骨構造と乗り物に極度の荷重を掛けます。安全性と信頼性は、事件や事故を回避するために最も重要なことです。

## 価値連鎖全体にわたる厳格な要求

欧州における事故数は比較的強く維持されているものの、2019年5月、欧州標準化委員会 CEN は、EN 13814「遊園地の乗り物と遊園地の装置の安全性」という新しい規格を導入しました。この規格は、アトラクションの設計から稼働、保守、監視、検査までのあらゆることを網羅しています。

この規格は、遊園地関連のメーカー、遊園地を運営する企業に対して厳格な要求を課しています。ピーター・アンダーソンは次のように述べています。

**「安全性は、私たちの事業における中核です。その安全性は、入園者、私たちの従業員に及んでいます。私たちがそれに妥協したことはありません」**

ピーター氏は、ストックホルム中心部にあるグローナルンド遊園地とパークスアンドリゾーツスカンジナビアのライドメンテナンスマネージャーです。このグループは、グローナルンドとスウェーデンで最も人気のあるテーマパークの幾つかを所有し、運営しています。

パークスアンドリゾーツの地元のメンテナンス部門は、摩耗、損傷の状態を観察することで、レールと乗り物の両方に対する綿密な日常管理を実施しています。毎年、乗り物が分解され、全部品がX線検査を受けています。事業許可機関の規則に従って、アトラクションが小さな部品にまで分解される5年ごとに徹底的な検査が実施されています。

### 多くの場合、ノルトロックワッシャーへの交換で十分

全ての工学と同様に、ボルト締結体の緩みは安全上の問題です。例えば、グローナルンドのアトラクション、エクリプスは910トンの鋼鉄、コンクリートから構成され、80,000本のボルトが使用されています。それには多くの潜在的な問題があります。

「多くの場合、私たちがボルトの緩みを発見した場合、根本原因分析を実施します。通常は、ノルトロックワッシャーに交換するだけで十分です」と、1998年にノルトロックウェッジロックワッシャーのことを初めて知ったアンダーソンは言います。当時、それらのワッシャーは目視検査後に1つのアトラクションのレールを固定するために使用されていました。

「その解決策がどれほど優れているか分かったとき、もう元には戻れなくなりました」と、彼は言います。

「そのときから、緩んだボルトを見つけるたびにノルトロックワッシャーを発注しています」多くのアトラクションメーカーが、設計段階で既にノルトロックワッシャーを指定しています。それらは大型のボルト締結体、レール、鉄骨構造などの用途だけでなく、ワゴンブレーキ内の可動部品に使用されています。

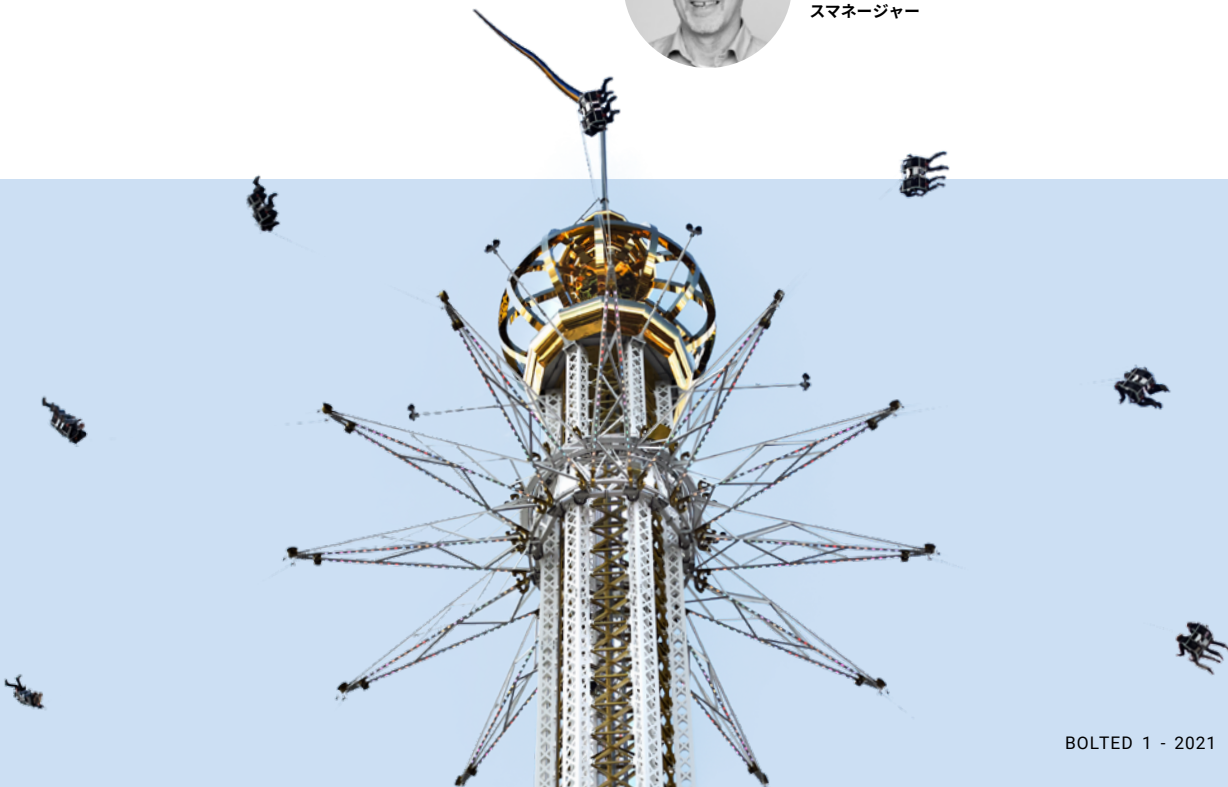
### 時間とコストを節約する解決策

パークスアンドリゾーツは、ノルトロックワッシャーの他、可動部の摩耗に対処するためのエクспанダー・システムも気に入っています。このシステムは、穴加工などの従来の修理と比較した場合、多額のコスト節約、ダウンタイムの最小化につながりました。また、新しい大型アトラクションには、900,000ユーロ以上のコストが掛かることもあることを考慮すると、このシステムは、大幅な節約につながるアトラクションの耐用年数の大幅な延長につながりました。

アンダーソンは、1990年代後半にエクспанダー・システムのことを初めて知りました。「私たちは様々な修理の解決策を試しましたが、もっと良い物があるはずだと常に感じていました。エクспанダー・システムを見つけたのは、そのときです」



ピーター・アンダーソン  
グローナルンドのライドメンテナンスマネージャー



**顧客**

パークスアンドリゾーツ  
スカンジナビア AB

**入園者数**

毎年、約 300 万人

**用途**

レール、ブレーキ、鉄骨構造を含む複数のもの

**ビジネス**

スウェーデンで最も人気のある4つのテーマパーク、スカラソムマーランド、グローナルンド、コールモーデン、フルビックを所有、運営

**解決策**

エクспанダー・システムとノルトロック  
ウェッジロックワッシャー

それ以降、オクトプッシーを含む、グローナルンドの数多くのアトラクションで使用されています。2009年、エクспанダー・システムがそのアトラクションの全てのアームに設置され、それ以来、問題無く稼働しています。その他の刺激的なアトラクションは、グローナルンドで最古のアトラクションのフライングカーペットです。

「このアトラクションには、歴史的価値があり、代わりを探すことが困難です」と、アンダーソンは言います。「約8年前、重要なピンが摩耗していることに気付きました。従来、その対処は新しい計算、最終的には完全な検査を実施することを示していました。また、検査は、アトラクションが稼働できなくなったことをも意味していました。摩耗したピンとボルトは、エクспанダー・システムに置き換えられ、フライングカーペットは今でも安全に利用されています。

**拡大するエクспанダー・システム**

パークスアンドリゾーツ内でのエクспанダー・システムの使用は、拡大しています。コールモーデン動物園・遊園地のメンテナンス部門が、アトラクションへのエクспанダー・システムの設置に関してアンダーソンに連絡したとき、彼は喜んでエクспанダー・システムを推薦しました。

通常、アトラクションワゴンのホイールボギーサスペンションが、最も大きな歪みを受ける弱点です。筐体穴許容差は、軸の摩滅を原因として、時としてわずか数年で拡大します。

コールモーデンの整備士フレデリック・ヨハンソン氏は、次のように語ります。「私のように30年間、それに従事していると、緩んでいる物が分かります。それは問題につながります。そして、私たちの安全基準を考慮すると、間に合わせの解決策を寄せ集めることはできません。少々高いコストが掛かったとしても、構いません」

**長期的なコストの節約**

一見すると、エクспанダー・システムは高価に思えますが、ライフサイクル的な観点から見ると、コストを節約できます、とヨハンソンは説明します。「エクспанダー・システムの購入価格、アトラクション全体の分解、穴加工のための部品発送をそれぞれ比較した場合、最後の二つにはより高額なコストと多くの時間が掛かります」

ヨハンソン氏は、整備士として設置が簡単なエクспанダー・システムを正当に評価しています。穴加工や溶接が不要で、摩耗したマウンティング内部で現場にて直接作業を実施できます。

「それは素晴らしい解決策です」と、彼は言います。「1シーズンの間、使用してきて、上手く機能しています。問題は解決しました」

**文章**

ウルフ・ウィマン

**写真**

ジャスティン・ガヴラノヴィッチ/パークスアンドリゾーツ  
グローナルンド/パークスアンドリゾーツ  
マグナス・グラン/パークスアンドリゾーツ





# スーパーボルトツール ベストプロダクトデザイン 2020



長年、同時に適切な荷重にまで複数のジャックボルトを回転させる器具を設計することは困難だと考えられてきました。しかし、ノルトロックグループの技術者のグループが、不可能を可能にしました。

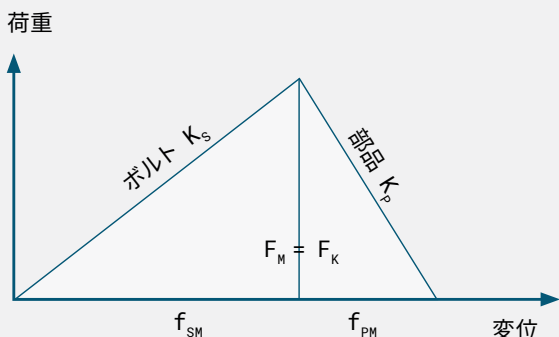
実際、彼らのイノベーションのスーパーボルトツールは、世界で最も有名なデザイン賞の一つである **レッドドット賞** に輝き、実績を残しました。スーパーボルトは、イノベーションカテゴリーの **ベストプロダクトデザイン 2020** を受賞しました。



reddot winner 2020

# ボルト締結体において外部荷重が付加されたときに軸力と締付力には何が起きるでしょうか。

ボルト締結技術に関する質問がございましたら、experts@nord-lock.com お問い合わせください



$K_S$  : ばね定数 ( $F_M / f_{SM} = 1/\delta_S$ ) 被締結材のばね定数  
 $K_P$  : 部品の剛性 ( $F_K / f_{PM} = 1/\delta_P$ )  
 $F_M$  : 軸力  
 $F_K$  : 締付力  
 $f_{SM}$  : 伸びたボルト変位置量 (+)  
 $f_{PM}$  : 圧縮された被締結材変位置量 (-)

一般的に私たちは、必要な締め付け荷重を発生させるためにレンチによってボルトまたはナットにトルクを掛けています。この締め付け荷重は、軸力と呼ばれています。軸力は、締め付けられるときに締結体内で生成されるボルトの張力として定義されます。その役割は、締結体の滑りや遊離を防ぐことです。この軸力に応じた締付力が、その被締結材に作用する力です。

外部荷重 (外力) が締結体に付加される際、その外力を伝達する各要素を分析していかなければなりません。

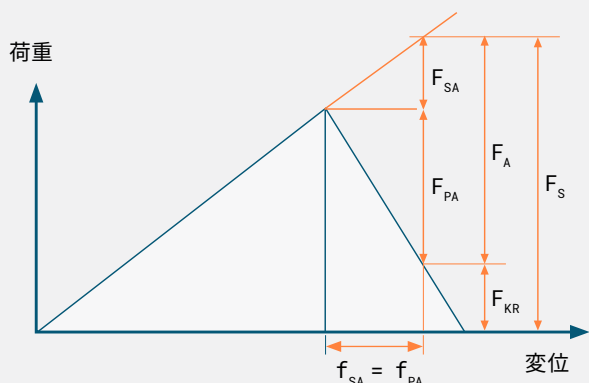
したがって、単一のボルト締結体の計算は、締結体のボルト軸と被締結材との弾性的挙動に基づいています。この弾性的挙動とは、ボルト・被締結材の変位置量とボルト軸力・被締結材の締付力とが線形関係の領域での挙動となります。

ボルト締結体を締め付けると、軸力  $F_M$  が生み出され、境界面に締付荷重  $F_K$  が発生します。そのばね定数は、最初に定義される必要があります。これは、材料を 1 mm 伸長するのに必要な荷重の値です。

$K = \Delta F / \Delta L$ 、ばね定数の逆数  
 (コンプライアンス  $\delta = 1/K$ )  
 締付線図参照 (レクチャー図)。

そして、締結体に作用する軸方向外部荷重  $F_A$  は、被締結材負担分とボルト負担分とに荷重分配されています。ボルト側に追加される作用荷重は、ボルト荷重  $F_{SA}$  となります。  $F_{PA}$  は、外部使用荷重の被締結材側負担分であり、締付力の低減分となります。この配分比率は、締結体のそれぞれのばね定数に基づいています。

ボルト締結体で発生する荷重と変位置量は、締付線図によって図示できます。したがって、前述の線図は、次のようになります。



$F_S$  : 最大ボルト荷重  
 $(F_S = F_A + F_{KR} = F_{SA} + F_{PA} + F_{KR})$   
 $F_A$  : 軸方向外部荷重  
 $F_{SA}$  : 軸方向追加ボルト荷重  
 $= n \times \{ \delta_p / (\delta_s + \delta_p) \} \times F_A$   
 $= \lambda \times F_A$   $\lambda$  を使用、  
 内外力比  $\lambda = n \times \{ \delta_p / (\delta_s + \delta_p) \}$   
 ( $n$ : 外力作用係数)  
 $F_{PA}$  : 締付力の低減分  
 $= (1 - \lambda) \times F_A$   
 $F_{KR}$  : 残存締付力  
 $f_{SA}$  :  $F_{SA}$  を起因としたボルト伸びの変位置量  
 $f_{PA}$  :  $F_{PA}$  を起因とした被締結材の締付力緩和分の変位置量



ルーク・ジュン  
ノルトロックグループ韓国ア  
プリケーションエンジニア

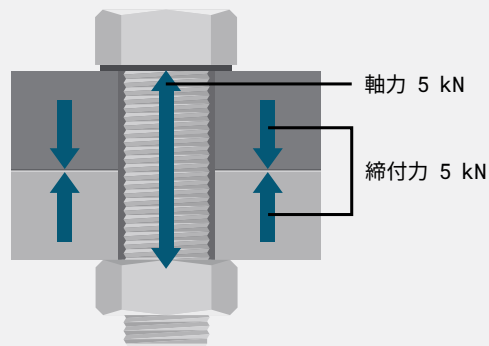


竹中正人  
ノルトロックグループアジア太平  
洋エンジニアリングマネージャー

## 前の式は、次の例で検証できます

### 手順 1

ボルト締結体を初期軸力5 kN まで締め付けます。まだ考慮すべき外部荷重はない状態です。



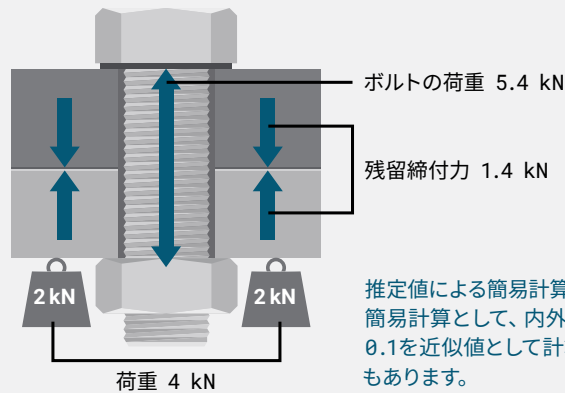
### 手順 2

軸力よりも小さな外部静荷重 (4 kN) が、付加されます。すると、初期締付力は、残存締付力まで変化します。ボルトの軸力は、5.4 kN まで上がりますが、残存締付力は 1.4 kN まで低減されます。

$$F_A = 4 \text{ kN}, F_{SA} = \lambda \times F_A = 0.4 \text{ kN}$$

$$F_S = 5.4 \text{ kN} = F_A + F_{KR}$$

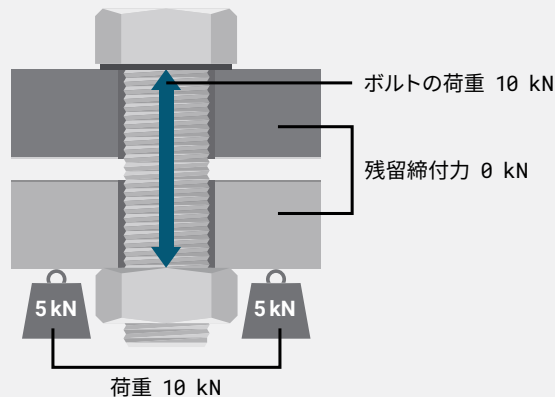
$$F_{KR} = 1.4 \text{ kN}$$



推定値による簡易計算:  
簡易計算として、内外力比  $\lambda = 0.1$  を近似値として計算することもあります。

### 手順 3

初期軸力よりも大きい外部荷重が付加されると、外部荷重が軸力よりもはるかに大きいために被締結体が遊離し、ボルトの軸力は最高で 10 kN まで上昇します。(外部荷重の100%)



結論として、軸方向の外部荷重が締結部に付加されるとき、ボルト締結体の弾性的挙動を締付線図にて分析する必要があります。それに加えて、ボルト締結体には剪断力、温度、振動、変動荷重などの様々な考慮すべき外部要因があります。そのような複雑なボルト締結に関してのご相談は、お客様の最寄りのノルトロックグループ事務所にお問い合わせください。

