

## 新幹線電車用輪軸の疲労強度と検修

石井 堅太郎\*  
Kentarō ISHII

### 1. まえがき

昭和39年10月、新幹線が東京～新大阪間に開業して以来、47年3月に岡山、50年3月には、更に博多まで延長され、総延長1069km、1日平均輸送人員43万人、車両数約2300両をようし、上下列車本数260本と文字どおり輸送の大動脈として大きな成果をあげている。その間、10数億人の乗客を輸送し死傷者0という輝かしい記録を更新し続けており、日本の経済、社会、文化の発展に貢献した功績は、はかり知れない。

このように、大量高速輸送機関を支えているのは、安全であり、安全なくしては、高速輸送機関は成り立たないということができる。新幹線電車は、この新幹線を構成する各システムの中でも最も重要なものの一つであり、これの検修にあたっては、在来線車両における長い間の経験と、これに基づく技術の蓄積をもとに、車両自体の信頼度の向上、並びに新しい検査技術の研究開発によって、車両の安全の確保と検修の近代化を進めてきている。

なかでも、車輪・車軸（輪軸）については新幹線電車部品のうちでも、最も基本的な部品であり、これら輪軸の保安度向上に対して常にわれわれは研究、努力を傾けてきたところである。

すなわち、輪軸には電車の走行により複雑な繰返し荷重が加わり、一方、その構造上、車軸には車輪、軸受内輪、駆動装置用歯車などが圧入又は焼ばめされるため、特にこれらの部分の繰返し応力に対する強度、すなわち疲労強度について研究し、その特性を明らかにしておくことがぜひとも必要となる。

そこで、新幹線電車について、とくに車軸の疲労に関して現在まで行ってきた研究の成果と輪軸の検修について述べる。

### 2. 新幹線電車用輪軸の構造寸法

新幹線電車用輪軸の疲労と検修について述べる前に、輪軸の主要構造を説明する。寸法形状は、図1に示すとおりであり、

(1) 車軸は機械構造用炭素鋼を材料として用い、車輪座の疲労強度を向上させることを主眼とした高周波焼入れをジャーナルの一部などを除いた全長に施している。

(2) 車輪は、高炭素鋼を材料として用い、圧延製造した一体車輪で、リム部は全体を焼入れ焼もどし処理している。車輪ディスク部の両面にはブレーキディスクが取り付けられている。

(3) 車軸の車輪への圧入及び抜取りは、油圧ばめ又は、油圧抜き作業方式を採用しており、車輪には油圧穴、油圧みぞを設けている。

### 3. 車軸にかかる実働応力

車軸に働く荷重としては、軸受部及び車輪をとおして伝達される。例えば、横圧、垂直荷重、前後荷重のほか、駆動用歯車部からのねじり荷重などがある。

一般に車体重量は、心ざら、揺れまくら、台車わく、軸ばねなどを経て車軸及び車輪に伝達されるが、この重量によって生ずる応力が静荷重による曲げ応力で、車軸の応力の基準にとっている<sup>(1)</sup>。

車両の速度が増加するとこれ以外に動的荷重による応力を受けるため応力波形、振幅も複雑に変

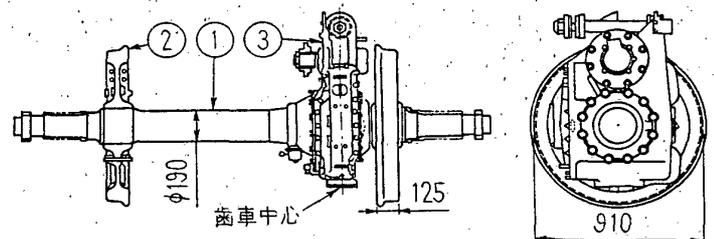


図1 新幹線電車用輪軸組立

\* 日本国有鉄道工作局 (〒100 東京都千代田区丸の内1-6-5)。

化する。この応力は理論計算から算出することは困難であり、できる限り機会を求めて実応力測定を行っている。

図2は、新幹線電車用車軸の東京～大阪間約500kmの曲げ応力ひん度分布の一例である<sup>(2)</sup>。

図3は、ねじり応力のひん度分布の一例である<sup>(2)</sup>。

図2, 3を見てわかるとおり、応力の主体は曲げ応力であり、ねじり応力は、応力レベル、ひん度とも、曲げ応力のそれに比較し、かなり小さい。

今後、更にこれらのデータを蓄積し種々検討を加える必要がある。

#### 4. 車軸の疲労強度

車軸の疲労強度の点からみた場合の重要な部位は、車輪をはじめとした各種の圧入部であるが<sup>(3)</sup>、これらの圧入部のうちでも車輪圧入部の内ボス端が最も重要な部位である。

この部位には、車両が走行する際に前述のような各種の荷重が加わり、これによって繰返し曲げ応力並びに繰返しねじり応力が生じる。

車輪圧入部に生じるこれらの応力による疲労の問題を解決することが、車軸の安全性をはかる上

での基本問題といえる。

この車輪圧入部では、曲げによる変位が車輪ボス部と車軸では、わずかながら異なっているため、圧入部の端のほうでは、車軸の表面と車輪の内面とによる金属同士の微少すべり現象が生じる。この微少すべりの量は、車軸に生じる応力や、車輪、車軸の形状・寸法などによって変わるが、新幹線電車の場合は、数 $\mu$ 程度のわずかな値である。

この微少なすべり現象によってピットやココア色のさびが生じるが、これらの箇所をミクロ的に観察すると深さ数 $\mu$ 程度のくぼみやきずを観察することができる。この現象は、一般にフレッチングコロージョンと呼ばれている現象で、車軸の疲労の特徴はこのフレッチングコロージョンとこれが原因となって生じるフレッチング疲労にある。

新幹線電車の車軸は、通常の回転曲げに対する疲労強度の向上とあわせてフレッチング疲労強度を向上させるため高周波焼入れが施されているが、高周波焼入れ軸における焼入れ深さと疲労強度の関係及び接触面圧と疲労強度の関係<sup>(4)</sup>などを明らかにし、疲労強度に対する最も有効な焼入れ条件や輪軸の圧入端部形状などを求める必要がある。

**4-1 新幹線電車用高周波焼入れ軸の残留応力分布** 焼入れ仕様別の新幹線電車用高周波焼入れ軸の残留応力分布についてザックス法による調査結果を図4に示す。

これからわかるように、例えば、歯車側輪座では、車軸表面の圧縮残留応力、表面に近い程その

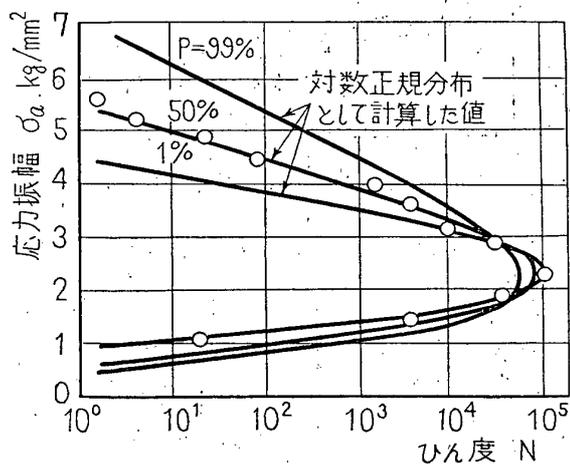


図2 新幹線電車の曲げ応力ひん度分布の一例

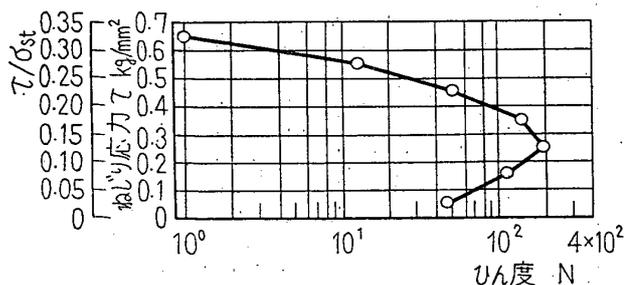


図3 ねじり応力のひん度分布の一例

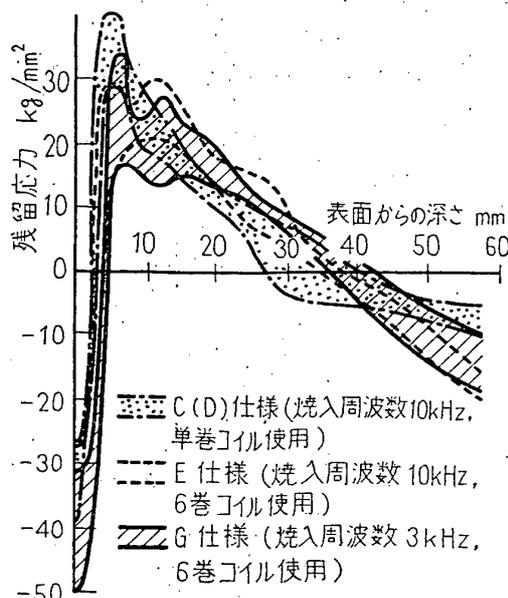


図4 ザックス法による仕様別残留応力分布 (歯車側輪座)

値が大きく、内部に入るに従い減少し、表面から数 mm の位置で引張応力に転じ、30~40 mm 付近で再び圧縮応力に変わっている。反歯車側輪座についても似たような傾向を示しているが、いずれとも、残留応力分布のパターンは焼入仕様（焼入条件）によって大きく変化する。

図5は、同様の軸をX線法で測定した結果であるが<sup>(5)</sup>、かなりの深さまでほぼ一様な安定した応力分布となっていることがわかる。

車軸の残留応力は、焼入後の機械加工の条件によっても応力分布が大きく異なり、また、長期にわたる使用によって変化するので、X線応力測定により絶えず管理するとともにその変化状況をトレースしている。

図6は、仕様別の硬化深さを示すものであるが<sup>(5)</sup>、表面で500~600  $H_V$  あり、内部に進むにつれて低下し、ほぼ200  $H_V$  となっている。この断面硬度分布と前述の残留応力分布とは、密接な関連性のあることが今までの研究で認められている。

**4.2 疲労強度と硬化深さの関係** 高周波焼入条件を種々変えて、硬化深さの異なった  $\phi 40$  圧入軸について回転曲げ疲労試験を行い、高周波焼入深さと疲労強度の関係を調べた結果を図7に示す。図で硬化深さ0の場合は焼ならし材のデータを用いた。図にみられるように有効硬化深さが増すにつれて破断疲労限度  $\sigma_{w2}$  は大きくなる。

しかし、き裂発生疲労限度  $\sigma_{w1}$  は、有効硬化深さ0.8 mm 付近までは、 $\sigma_{w2}$  とほとんど同じ傾向で大きくなるが、それ以上では飽和する傾向である。

#### 4.3 フレッチングコロージョンと表面き裂の

**発生機構** 30万 km ごとの台車検査周期で車輪抜き検査をしてフレッチングコロージョン発生状況を記録しており、ほぼ全部の輪軸にこの現象がみられる。しかしながら、車軸替えの対象となる磁粉さずの発生しているのは極めて少ない。

つぎにフレッチング疲労時の諸現象と表面き裂発生機構を明らかにするため、フレッチング疲労試験機を使用し疲労き裂の発生に関して、フレッチング部の応力状態がどのような影響を与えているかを調査した。この試験による結果の主なものとはつぎのとおりである。

(1) ミクロき裂の発生は、接触面付近のすべり量の影響が特に大きく、また、ミクロき裂は応力集中率の高い箇所に発生している。

(2) フレッチング疲労強度を増すためには、接触面の摩擦係数と圧入面を小さくするかあるいは、相対すべり量を小さくするとよい。

(3) 圧入端部の形状は、フレッチングコロージョンとき裂の発生に大きな影響を与える。

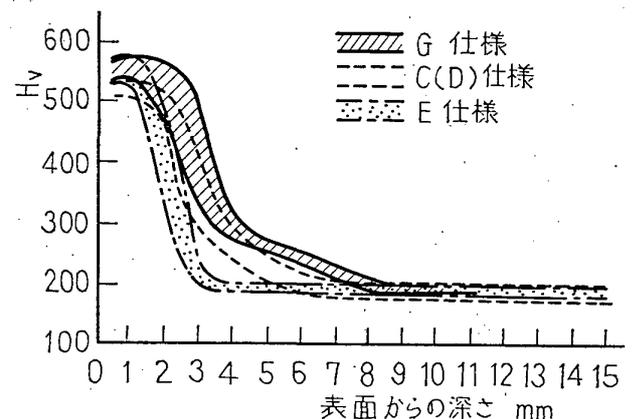


図6 仕様別硬さ分布 ( $H_V$  10 kg) (歯車側輪座)

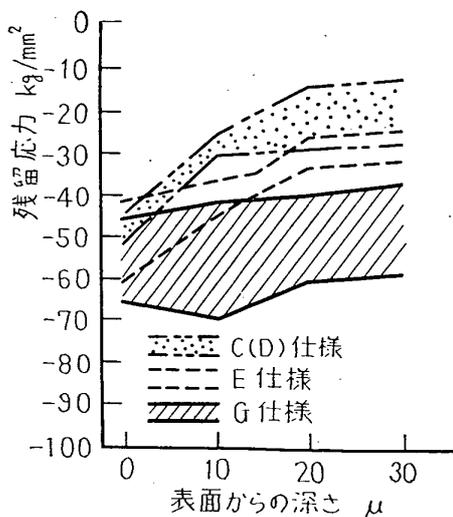


図5 X線法による残留応力分布 (歯車側輪座)

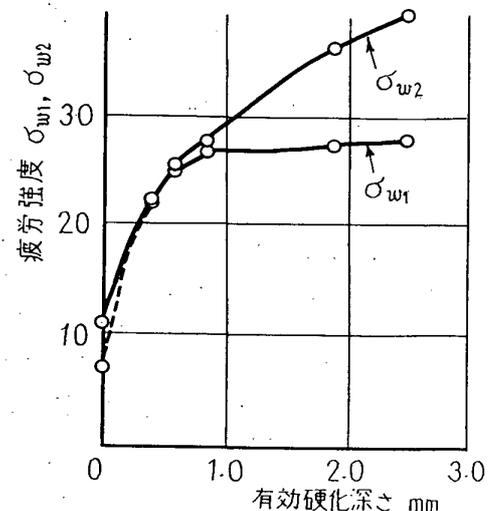


図7 疲労限度と硬化深さの関係

### 5. 車軸の改良と現在進めている研究

今まで述べた研究成果をもとに実際の輪軸の改良を行っているが、その代表的な項目は、

- (1) 高周波焼入れ及び機械加工などの条件を改良し、圧縮残留応力を安定的な分布にするとともに、硬化層深さを向上した。
- (2) 車軸の圧入端部形状をフレット形からオーバハンク形に改良してフレッチングコロージョンの発生を減少させた。

などであり、輪軸の信頼度向上をはかっているが、更に向上をはかるべく

- (1) 実物車軸によりき裂進展速度から見た圧縮残留応力、硬化層深さの最適値とその簡易検査法。

- (2) 実際の車両における高周波焼入れ軸の長期使用と強度特性の関係。  
について研究を実施中である。

### 6. 輪軸の検修

**6.1 車両の検査体系と輪軸の検査** 車両の検査については、長い間の経験と、これに基づく技術の蓄積をもとに、車両自体の信頼度の向上、並びに新しい技術の研究開発によって、その近代化に努めている。

新幹線電車の輪軸の検査については、200 km/h を超える高速運転に対し、十分に安全を確保し、かつ、経済的にこれを遂行するため、安全面に対しては徹底した検査を、経済的見地からは機械化、自動化などによる保守作業の省力化を進めている

図8は新幹線電車についての検査体系を示すものであり、表1には新幹線電車輪軸の検査種類別検査内容を示す。

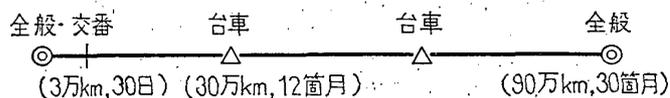


図8 新幹線電車の検査体系

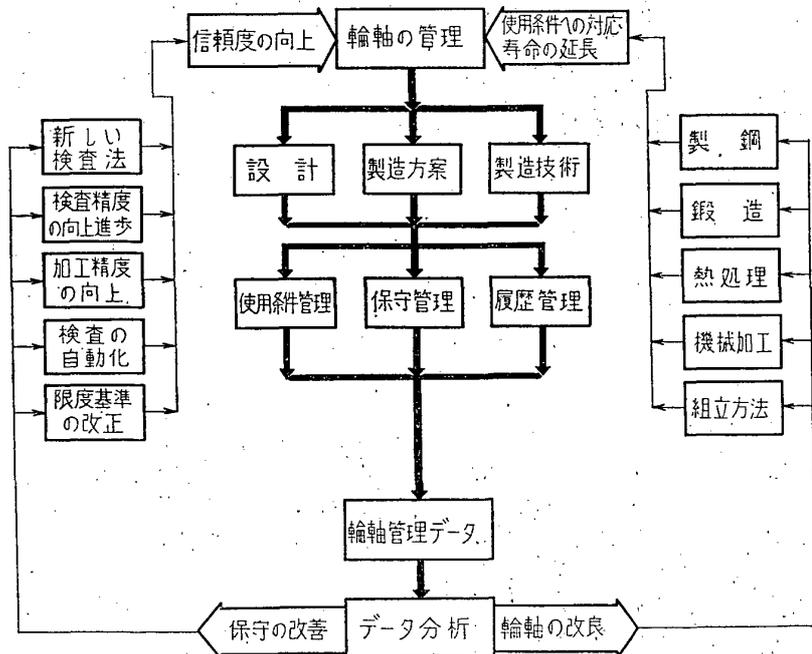


図9 輪軸管理のフローチャート

表1 新幹線電車輪軸の検査種類別検査内容

全般検査	台車検査	交番検査	随時
輪軸取りはずし 車輪抜き取り 車軸、歯車探傷 車輪削正	輪軸取りはずし 車輪ずらし 車軸探傷 車輪削正	車軸探傷 (輪軸取付けのまま)	車輪踏面研削 (輪軸取付けのまま) (2~3回交番検査) 間に1回研削)

**6.2 輪軸の検修システム** 輪軸検修は、基本的に予防保全方式に立ち、さらに構造改善などの改良保全を加えて行っており、輪軸の管理についても独自のシステムをとっている。

その主体は、各分野における輪軸管理データを有機的に結合し、これを故障物理の立場、信頼性管理などに立脚して解析し、また、前段に述べた長い間の研究成果を取り入れるなど、経験と技術の蓄積に照らし合わせて、より有効な施策に結びつけようとする一貫した輪軸管理にある。すなわち、設計—製作—使用—保守—廃棄を一貫管理しており、これらの各分野で得られたデータが蓄積され、体系づけられて相互にフィードバックされることにより、輪軸の改良がなされ、より品質、信頼度の向上したものを生み出すとともに、検査回帰、解体区分、修繕限度、修繕基準、検査方法などについて細部にわたって規定し、X線応力測定を導入など検査方法の改善、限度基準の修正改善及び回帰の延伸などを進めることによって、輪軸のより高い安全の確

保と保守業務の能率向上をはかっている(図9)。

このような検修システムにおいて、新幹線電車用輪軸検修は、すべての車輪を抜き取って車軸の車輪圧入部である車輪座の精密探傷を行うとともに、圧入時における締めしろ、車輪径などの組合せ管理及び搬送などは、コンピュータシステムによって行っている。また、車輪の圧入、圧抜きがひんぱんに行われるため、圧入、圧抜き作業は、油圧ばめ、油圧抜きを採用している。

## 7. む す び

新幹線電車用輪軸の疲労に関する研究成果と検修について述べてきたが、この研究は一貫した輪軸管理のなかで各種データを収集しながら、必要な試験調査を行うとともに理論的な検討を加え進めてきたものであり一応の成果を得たと考える。

車両は鉄道の使命である迅速、安全な輸送を遂行する上でその占める位置は極めて高く、この車両を保守するにあたって最も重要なことは、

- (1) 安全を確保する。

- (2) 車両全体の保守費を最小とする。

- (3) 車両の運用効率を高める。

ことである。

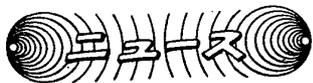
これは、車両自体の信頼度の向上(車両の改良など)、検修回帰の延伸、修繕単価の逡減(保守の近代化、合理化)、修繕日数の短縮(生産管理の充実)などにより初めて達成できるものである。

これらの基本的な考え方にたつて、今後とも更に車両に関しての研究を進め、より優れた車両及び車両保守をめざし安定した輸送体制の確立をはかるよういっそうの努力をしていきたい。

(原稿受付 昭和53年11月8日)

## 文 献

- (1) 中村・ほか2名, 機論, 34-268(昭43-12), 2074.
- (2) 田中, 機誌, 73-621(昭45-10), 1452.
- (3) 中沢・中村, 軸と軸継手, (昭41-9), オーム社.
- (4) 中村・ほか3名, 東海道新幹線に関する研究, 2(昭35-4), 138, 日本国有鉄道技術研究所.
- (5) 石井, 国際輪軸会議資料, (昭50-10), 日本国有鉄道工作局.
- (6) 石井, 機習教(第439回), (昭51-7), 87.



## 企業の技術開発における諸問題(その3)

(462ページより)

◆**技術移転** 最近、技術移転への関心が高まっている。これまでの技術導入との相違点は、技術導入が海外から、その多くが同業種からで、完成技術が大半だったが、技術移転はおもに国内から、異業種からで、要素的な部分技術をもとめるものが多い。現状では模索の段階で問題点が多いが、不慣れから生じる問題が大半を占め、本質的なものではない。今後予想される問題は取り入れるべき技術の発掘と評価の能力を企業が十分にもっているかどうかという点である。

◆**政府への要望** 政府の民間企業に対する産業技術政策の柱は従来、企業の研究開発投資に対する補助や税制上の優遇措置だったが、近年、政府の役割が変わり、政府主導のプロジェクトがふえ民間主導のプロジェクトがふえ民間がいかに協力するか重要な問題となってきた。他方、政府の科学技術予算は少なく研究開発投資に占める政府の支出は30%に満たず、欧米の水準よりかなり低い。

とくに民間企業への委託は51年度で総額290億円とアメリカの委託額のわずか1~2%である。政府の研究開発投資の大幅な増加と民間企業への委託の飛躍

的な拡大が必要で、あわせて政府委託プロジェクトの事務手続き、単年度予算制による弊害、成果の帰属などが問題である。政府が柔軟な姿勢で制度の改革に努力することが望まれる。

◆**技術情報流通システム** 企業の技術力を向上させ研究開発の効率をあげるためには技術情報の収集、分析能力の強化も重視される。とくに小規模な企業ではその能力不足がめだっているが、今後は企業努力と同時に、国家的な規模での技術情報の流通システムを装備することが不可欠である。

◆**技術の社会的受容性** これまで何らかの形で社会的受容性が問題になったとする企業は全体の30%を占め、半分近くの企業が今後も問題になっているとみている。

従来は環境問題や安全性が中心だったが、今後は、これらの規制などで処理できない問題が多くなる。技術の社会的受容性を確立するための一つの方向は開発された技術の実証を行うことである。これは一種の社会実験で、消費者や地域住民と深い関係をもつ技術にこの実証過程の導入が不可欠となる。

〔服部 敏夫〕