

復興を支える

東北新幹線

国内最速となる320km/hを目指して開発された東北新幹線の新車両E5系(はやぶさ)。高速走行に伴う安全性・信頼性確保のために、さまざまな技術が導入された。東日本大震災では、その安全性が確認され、日本の新幹線技術が高く評価された。デビューから1年が経過し、現在は震災復興の担い手として活躍するE5系。安全走行を支える技術を中心に紹介する。

安全性が認められた次世代新幹線車両

2011年3月5日、東北新幹線E5系車両は華々しくデビューした。15mにおよぶロングノーズ、「常盤グリーン」と呼ばれる鮮やかな青緑がボディを彩る。東北の地を疾走するに相応しい、次世代新幹線車両の誕生であった。

E5系は、試験車「FASTECH360」での研究成果をベースとして開発された量産車である。今後、JR東日本の新幹線の主軸となる車両であり、全性能が現行E2系を上回る技術開発が行われた。

最高速度は、300km/hから段階的に高速化を進め、320km/hの営業運転を予定している。世界に目を向けてみれば、2002年に開業したケルン-フランクフルト高速新線でICE3が最高速度300km/hに達し、2007年に開通したLGV東ヨーロッパ線(パリ〜ストラスブール間)でTGVPOSが最高速度320km/hに達しており、E5系はこれらと肩を並べようとしている。

しかし運転開始から6日後の3月11日、東日本大震災が発生した。東京〜いわて沼宮内間で運転中止基準である18カイン*を超え、最大で107.7カインを記録した。地震発生時、早期地震検知システムの海岸地震計がいち早く揺れを検知し列車への電力供給を遮断したため、非常ブレーキがかかり、すべての列車が

緊急停車した。また試験運転中の列車が仙台駅構内にて低速で脱線したものの、営業運転中の列車に脱線はなかった。乗客は、乗務員、駅社員等が避難を誘導したため、死傷者は出なかった。くしくもデビュー直後に大きな地震に見舞われながら、被害を最小限に抑えたことから、その安全性は高く評価されることとなった。

*地震動の大きさを速度で表したもの。1秒間に何cm変位したか(cm/s)を示す。

東北新幹線の地震対策

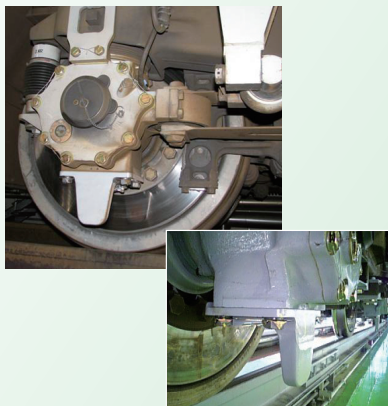
地震に対して、東北新幹線ではどのような対策がとられていたのだろうか。

東日本大震災で力を発揮した早期地震検知システムは、地震の主要動(S波)より先に到着する初期微動(P波)を検知するシステムで、2004年の新潟県中越地震を経て、地震規模の推定方式の変更、地震規模にあわせた範囲の送電停止機能の追加、沿線地震計を増設、運転規制の判断指標の変更等、改良を行っていた。

また非常ブレーキの作動時間の短縮も行っていた。新幹線は沿線に設置した地震計が地震の発生を検知すると架線への送電を停止させるが、これまでは電圧の降下を車上のATC装置が

■東北新幹線の地震対策

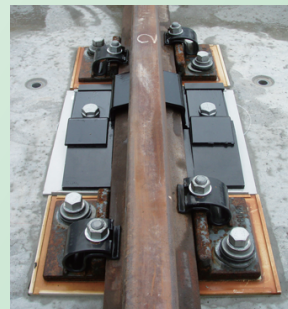
【L型車両ガイド】



【接着絶縁継目】



【レール転倒防止装置】



上下の締結部が万一はずれた場合を想定して、さらに中央部分（黒い部分）にレールと地面の締結部を追加している。

検知して非常ブレーキを動作させ、これに約4秒かかっていた。そこで新たに停電検知装置を設け、非常ブレーキ作動時間を約3秒に短縮していた。

さらに、新潟県中越地震に伴う上越新幹線の脱線事故を受けて、万一脱線しても車両が軌道から大きく逸脱することを防止するために、車両逸脱防止L型ガイドが車両に設置された。地上側では、脱線した場合に車輪などがレールの継目部（接着絶縁継目部）に当たるときの衝撃を低減するため、継目板の形状の改良が行われたり、またレールを締結する金具が破損した際のレールの転倒や横方向のずれを防止するレール転倒防止装置が開発された。

●世界の高速鉄道と日本の新幹線

ヨーロッパの鉄道の多くは、機関車けん引の客車列車を採用しており、電車方式を採用している日本の新幹線とは対極にある。例えばフランスの場合、国土面積は日本の1.6倍、人口は半分であり、日本のような大量の旅客需要はない。したがって数百km離れた都市間を中型旅客機程度の輸送力で、高速かつノンストップで輸送することになる。そのため車体断面を小さくして空気抵抗を抑え、出力の大きな機関車を両端に連結したTGVが開発された。

一方、日本は大量の旅客需要があることから列車運行間隔が短く、人口密集地域を通過することから駅間距離は数十kmと比較的短く、加速、減速を頻繁に繰り返す必要がある。そのため動力を編成各車両に分散させた新幹線が開発された。

両者の優劣を論じられることも多いが、それぞれの環境に合わせて発展してきたスタイルである。各方式が、今後予定されている各国の鉄道計画にどう評価され、採用されていくのか、世界の関心が集まっている。



TGV車両 リヨン駅にて

E5系の高速化に対応した基礎ブレーキの開発

新幹線の高速化には、安全に車両を停止させる技術が伴わなければならない。平常時はモーターによる回生ブレーキが主体となるが、地震時は停電となるため摩擦ブレーキのみで制動することになる。E5系が320km/hで走行し非常停止した場合、現行ブレーキではE2系（最高速度275km/h）の非常停止距離である約4000mで停止することができない。そのためE5系では新たに高速高減速度対応の基礎ブレーキの開発が行われた。主には摩擦ブレーキを構成するブレーキディスク、ブレーキライニング、ブレーキキャリアが検討された。

現行のブレーキディスクはドーナツ状の円盤で、この内周側にボルトを配置し、車輪と締結する構造であるが、高負荷ブレーキに伴って、内周締結では締結ボルトの折損、ディスクの熱変形および熱亀裂が発生する可能性があった。そこで締結ボルトにせん断力が作用せず、ディスクの熱膨張を許容する、中央締結のブレーキディスクに変更された。

■東日本大震災による東北新幹線の主な被害状況

主な被害	3/11本震		4/7以降余震
	被害箇所数	4/7時点で復旧未了の被害箇所数	被害箇所数
電化柱の折損・傾斜・ひび割れ	約540箇所	約60箇所	約270箇所
架線の断線	約470箇所	約30箇所	約200箇所
高架橋等の損傷	約100箇所	—	約20箇所
軌道の変位・損傷	約20箇所	—	約20箇所
変電設備の故障	約10箇所	1箇所	約10箇所
防音壁の落下・傾斜・剥離	約10箇所	—	2箇所
天井材等の破損・落下	5駅	1駅	2駅
橋桁のずれ	2箇所	—	7箇所
橋桁の支点部損傷	約30箇所	—	約10箇所
トンネル内の軌道損傷	2箇所	—	—
合 計	約1,200箇所	約90箇所	約550箇所

※高架橋、橋りょう、駅舎、トンネルの崩落はありません。

またブレーキライニングは、現行ライニングの摩擦係数が低いため、高速域から停止までほぼ安定して高い摩擦係数を持たせることが必要となった。そこで現行の1枚板の形状から分割形状にして摩擦点を増やし、一つの摩擦点の負荷を小さくする方法が採用された。

さらにブレーキキャリパは、現行の油圧式キャリパから、高速対応として空圧式キャリパが開発された。これにより油圧変換弁が不要となり、台車内にスペースができ、新たな装置を台車に設置することも容易になった。

ちなみに、形状が動物の耳に似ていることから「ネコミ」と呼

過去の経験を生かしたスピード復旧

2011年3月11日に発生した東日本大震災で、東北新幹線の被害は広範囲に及んだ。電化柱の折損や傾斜、架線の切断、高架橋柱の損傷、軌道の変位・損傷など、約1,200か所が被害を受けた。また仙台駅など5駅で天井材が落下した。4月7日以降に起こった余震でも約550箇所の被害が確認され、本震よりも大きな被害を受けた場所もあった。

しかし復旧工事が終了した区間から運転を再開し始め、4月29日には全線で運転再開となった。地震発生から49日後の全線復旧である。これは運転再開に81日かかった阪神・淡路大震災による山陽新幹線、66日かかった新潟中越地震による上越新幹線を上回るスピードである。なにより、いち早い新幹線の復旧は、被災地に明るいニュースをもたらした。

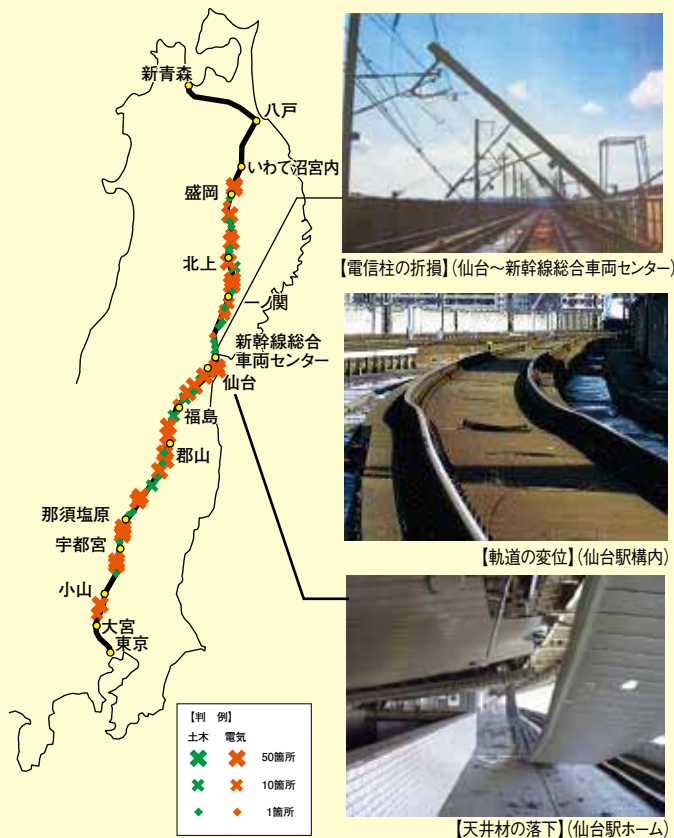
早期復旧の要因は二つある。一つは全国の鉄道事業者や施工会社、メーカー、研究機関、関係団体などが総力を挙げ

て要員の確保や資材の調達などを支援したことである。

もう一つは、過去の震災での経験が生きている。阪神・淡路大震災で高架橋の崩壊が復旧を遅らす要因となったことから、新幹線のコンクリート製高架橋柱1万8500本について鋼板で覆うなどの耐震補強を行っていたためである。また新潟県中越地震では、魚沼トンネルで天井や側壁が崩落し、復旧に時間を要した経験から、トンネルの補強工事も実施していた。このような耐震補強を強化したため、東日本大震災では重大な被害をもたらす高架橋の落下や倒壊はなかった。

今後の課題として、①脱線現象の解明と対策、②早期検知システムの改良、③電化柱、架線の補強、④駅舎等の大規模天井の補強、⑤首都直下型地震対策などが挙げられている。東日本大震災で得た教訓から、地震に強い鉄道を目指した取り組みがいつそう進むことが期待される。

《東北新幹線の地上設備の主な被害状況(3/11本震による被害)》



《耐震補強》



《復旧に向けた取り組み》



新花巻～盛岡間 高架橋応急工事



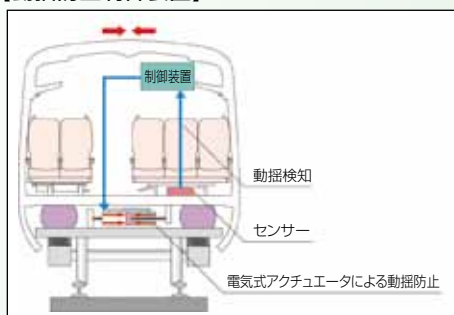
E5系ブレーキの装着写真



E5系用台車

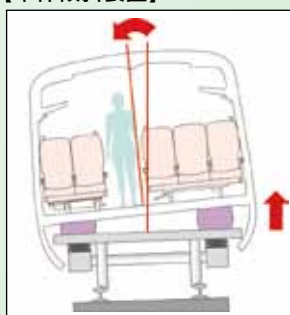
■乗り心地向上のための二つの技術

【動揺防止制御装置】



車体の揺れを感知して左右の振動を低減し、高速走行時の快適な乗り心地を実現している。

【車体傾斜装置】



空気ばねにより車体を傾斜させて遠心力を緩和することで、カーブでの乗り心地とスピードを向上させる。

ばれ話題となった試験車FASTECHの空気抵抗増加装置は320km/h走行では設置しなくともブレーキ性能を確保できることがわかり、E5系には採用されなかった。

*上記文は、「JR East Technical Review No.31,P17～」を準拠。

安全性と乗り心地向上を目指したE5系用台車

安全性と乗り心地に大きく関わるのが台車である。E5系の台車は耐久性・制動性を強化したボルスタレス台車で、台車の構成は、高速に対応する性能(走行安全性・安定性、乗り心地)を確保するとともに、高速走行時の信頼性、長期耐久性、メンテナンスの容易性についても考慮する必要があり、見直しが行われた。検討された構成は細部構造の異なる軸はり方式(台車枠と軸箱を一体の腕で結合する方式)と、支持板方式(台車枠と軸箱を板ばねで結合する方式)で、FASTECHにおける走行試験で検証された結果、信頼性とメンテナンス性を考慮して実績のある支持板方式が採用された。また走行安定性向上のため軸箱支持剛性の見直しや、軸ばね、軸ダンパの最適化を図っている。

さらに、320km/h走行での乗り心地向上のため、E5系の台車には動揺防止制御装置(フルアクティブサスペンション)と車体傾斜装置が搭載された。300km/hを超える高速走行では、台車の最適化等の改善だけでは十分な乗り心地を確保するのが難しいため、この二つの装置を同時に制御するのは世界初の試みとなる。

動揺防止制御装置では、座席の下などに設置したセンサーが右方向への揺れを感じると、アクチュエータで車体の左方向に力をかけて揺れを抑えるなど、車体の左右振動を低減する。現

在E2系に装備されている動揺防止制御装置は空気式であり、車体傾斜装置も空気源を必要とするため共存することは難しく、電気式が開発された。電気式は空気式より応答性が高く、320km/h走行でE2系と同等以上の乗り心地を達成している。この装置はE5系の全車両に装備されている。

また車体傾斜装置は、カーブ通過時の遠心力を緩和して乗り心地を改善するもので、カーブに差し掛かると、空気ばねを作動させて車体を傾ける。最大傾斜角度は1.5度で、東北新幹線の最小曲線半径である4000mにおいても320km/h走行が可能となった。E5系には、グリーン車の上位座席「グランクラス」が設けられるなど、これまでにない快適性が話題となっているが、台車に搭載された両技術によって快適な乗り心地は支えられている。

2011年9月から、東北新幹線は震災前の通常ダイヤに戻っている。人々が東北の地に向かうことは、復興への着実な一歩となるであろう。その旅は、快適な乗り心地のE5系に乗りてみたいものである。爽やかなグリーンの車両は、復興への多くの希望を乗せて、今日も安全に東北の地を走行している。



●資料提供：東日本旅客鉄道(株) ●文 藤井 美穂