

**50 Jahre Erfahrung im Schotteroberbau auf der Tokaido Shinkansen Linie/
50 years of experience with ballasted track on the Tokaido Shinkansen/
50 ans d'expérience avec la voie ballastée sur la ligne Tokaido Shinkansen**

Vortragender / Speaker / Intervenent

Title: Dr. Eng.
Forename: Masahiro
Surname: Miwa
Function: Manager
Firm/Organisation: Central Japan Railway Company
Technology Research and Development
General Technology Division
Address: 1545-33 Ohyama, Komaki, Aichi
485-0801
Japan
Phone: +81-568-47-5379
Fax: +81-568-47-5364
E-Mail: m.miwa@jr-central.co.jp



Kurzfassung

Der erste Hochgeschwindigkeitszug ($V \geq 200 \text{ km/h}$) der Welt, der Tokaido Shinkansen, feierte 2014 seinen 50. Geburtstag. Heute wird sein Streckennetz als die „Hauptverkehrsader Japans“ bezeichnet, durch die Großstädte wie Tokio, Yokohama, Nagoya, Kyoto und Osaka untereinander verbunden sind. Mit durchschnittlich 342 Zügen und 424.000 Fahrgästen pro Tag spielt er eine wichtige Rolle bei der Bewältigung der großen Verkehrsvolumen und Frequenzdichten entlang dieser Verkehrsader. Die Fahrweginstandhaltung dient nicht nur der sicheren, sondern auch der pünktlichen und bequemen Transportabwicklung.

Vor dem Bau dieser neuen Strecke wurde im Bereich Hochgeschwindigkeitsbahn geforscht und entwickelt. Dazu wurden bewährte Technologien und Erfahrungen aus konventionellen Bahnstrecken in Japan (ca. 100 km/h) und anderen Ländern (ca. 120 – 160 km/h) herangezogen. Die Möglichkeit eines schotterlosen Oberbaus wurde zwar angesprochen, doch wurde aus den Ergebnissen der theoretischen Analysen und praktischen Experimente der Schluss gezogen, dass unter den Bedingungen des Hochgeschwindigkeitsverkehrs Schottergleise nicht nur verwendet, sondern auch wirtschaftlich instandgehalten werden könnten. In den ersten zwei bis drei Jahren nach Aufnahme des kommerziellen Betriebs waren umfangreiche Stopfarbeiten aufgrund der Bettungsetzung erforderlich. Die Bettung hat sich daraufhin stabilisiert, wobei der Bedarf an Stopfarbeiten auch durch den Austausch der 50 kg/m-Schienen durch 60 kg/m-Schienen gesenkt wurde.

1987 wurde die Japan National Railway (JNR) privatisiert, was zur Folge hatte, dass JR-Central den Zugbetrieb und die Anlageninstandhaltung für die Linie Tokaido Shinkansen übernahm. Seither hat sich die Instandhaltung dieser Linie weiterentwickelt, wie aus den nachfolgenden Beispielen ersichtlich ist.

Im letzten Jahr von JNR wurde die Betriebsgeschwindigkeit von 210 km/h auf 220 km/h angehoben. Zu dieser Zeit verschlechterte sich der Fahrkomfort, insbesondere aufgrund seitlicher Schwingungen am Fahrzeug. Deshalb wurde eine Instandhaltungsmethode zur Beseitigung langweiliger Richtungsfehler entwickelt und so der Fahrkomfort merklich erhöht. Die Behebung langweiliger Richtungsfehler hat auch den Bedarf an Richtarbeiten an sich gesenkt, da sie die durch Seit- und Gierbewegung des Fahrzeuges hervorgerufene dynamische Querbeanspruchung unterdrückte. Die Betriebsgeschwindigkeit wurde 1992 weiter erhöht, und zwar auf 270 km/h, wobei die für diese Geschwindigkeit neu entwickelten Fahrzeuge merklich leichter waren, um die Bodenschwingung und den Oberbauinstandhaltungsbedarf nicht zu erhöhen. Dafür wurde nicht nur die Achslast

gesenkt, sondern auch die unabgefederte Masse leichter ausgeführt. Mit diesen Gegenmaßnahmen konnte ein durch höhere Geschwindigkeiten verursachter Anstieg an Oberbauinstandhaltungsarbeiten eingedämmt werden. Für einen geringeren Instandhaltungsaufwand bei Schotteroberbau ist auch das entsprechende Management der Schienenrauheit in Längsrichtung und des Querprofils von Bedeutung. Ersteres unterdrückt die Gleissetzung durch Senkung der dynamischen Radlast, während letzteres die seitliche plastische Verformung des Gleises hemmt, indem es die durch die Gierbewegung des Drehgestells hervorgerufenen dynamischen Querkräfte reduziert. Dies wird durch Schienenschleifen und Qualitätsmanagement der Schienenlieferfirmen erreicht. Außerdem haben die Mechanisierung der Oberbauarbeiten und der Einsatz von leistungsstärkeren Gleisbaumaschinen zu einer effizienteren Instandhaltung geführt. Mit diesen Verbesserungen wurde erreicht, dass die Kosten für Oberbauinstandhaltung heute geringer sind als vor 20 oder 25 Jahren, und das trotz höherer Zugzahlen und Geschwindigkeiten.

Ein Beispiel für eine weitere Verbesserung der Oberbauinstandhaltung, mit der wir uns heute beschäftigen, sind kurzweiligere Unebenheiten von ca. 5 m Länge. Auch wenn der Zustand des Gleises auf der Linie Tokaido Shinkansen insgesamt ausgezeichnet ist, kommt es doch in sehr begrenzten Abschnitten zu kurzweiligen Fehlern, die etwas häufiger Instandhaltungsarbeiten erfordern. Mit Hilfe von theoretischen und praktischen Methoden untersuchen wir gerade die Ursache für dieses Phänomen und entwickeln Techniken zur Reduzierung der Stopfarbeiten.

Abschließend soll noch auf die feste Fahrbahn eingegangen werden. Japan verfügt über eine etwa 40-jährige praktische Erfahrung mit festen Fahrbahnen. Die Anschaffungskosten für den schotterlosen Oberbau konnten in etwa auf jene für Schottergleise gesenkt werden, wobei feste Fahrbahnen wesentlich geringere Instandhaltungskosten verursachen. Bei Japans neu errichteten Shinkansen-Strecken kommt über nahezu die gesamte Länge schotterloser Oberbau zum Einsatz. Dass jedoch die bestehenden Schottergleise auf der Linie Tokaido Shinkansen durch feste Fahrbahnen ersetzt werden, ist aufgrund gesamtwirtschaftlicher Überlegungen und der Schwierigkeiten bei der Durchführung derartiger Arbeiten bei laufendem Zugbetrieb unrealistisch. Deshalb werden wir uns bemühen, die Entwicklungen im Bereich Schotteroberbau weiter voranzutreiben.

Abstract

The Tokaido Shinkansen, which was the world's first high-speed line ($V \geq 200 \text{ km/h}$) to commence operation, celebrated its 50th anniversary in 2014. Today, it is known as the "main artery of Japan," linking major cities including Tokyo, Yokohama, Nagoya, Kyoto and Osaka. It has a very important role in sustaining the large volume and high frequency of transportation along this artery, running an average of 342 trains transport 424,000 passengers each day. Track maintenance is performed not only to provide safe, but also punctual and comfortable transportation.

Before the construction of this new line, research and development were undertaken for high-speed rail track based on the proven technologies and experiences gained from Japan's conventional lines (approx. 100km/h) and those of railways in other countries (approx. 120km/h to 160km/h). Although the need for slab track was discussed, it was concluded from the results of theoretical analyses and experiments that under high-speed conditions ballasted track could be used and also maintained economically. In the two or three years after commercial operation commenced, much tamping work was needed due to the settlement of the ballast bed. The ballast bed subsequently stabilized, and thanks to the replacement of 50kg/m rails with 60kg/m rails the need to perform tamping work could be reduced.

In 1987, Japan National Railway (JNR) was privatized, and JR-Central took over train operation and ground facility maintenance for the Tokaido Shinkansen. Since then,

maintenance of Tokaido Shinkansen track has evolved as described in some examples below.

Operational speed was increased from 210km/h to 220km/h in 1986, JNR's last year. At that time, riding comfort deteriorated, particularly on account of lateral vehicle vibration. A track maintenance method was developed to address long wavelength irregularities in track alignment, noticeably enhancing riding comfort. Long wavelength realignment was also effective in decreasing realignment work itself, because it suppressed dynamic lateral force associated with lateral and yaw vehicle motions. Operational speed was further increased to 270km/h in 1992. The weight of newly developed vehicles for this speed-up was significantly reduced so as not to augment ground vibration and track maintenance. For this purpose the axle load was decreased, and the unsprung-mass was lightened. As a result of these countermeasures increases in track maintenance usually caused by higher speeds, could be prevented. Management of rail longitudinal roughness and cross-section profile is also important for decreasing ballasted track maintenance. The former has the effect of suppressing track settlement by decreasing dynamic wheel load, while the latter inhibits lateral plastic deformation of track by decreasing dynamic lateral force caused by bogie yaw motion. They are achieved through rail grinding work and quality management performed by rail suppliers. In addition, mechanization of track work and high performance track maintenance machines have led to more efficient track maintenance. As a result of these improvements track maintenance costs have been reduced in the past 25 years – despite increased traffic volume and travelling speeds.

An example of a further improvement in the field of track maintenance we are currently dealing with, is shorter wave longitudinal track irregularities of approximately 5 m wavelengths. Although the track of the Tokaido Shinkansen is in excellent condition, short wave irregularities tend to develop in very limited sections, requiring relatively more frequent maintenance. We are now employing theoretical and practical methods to examine the cause of this phenomenon and develop techniques for the reduction of tamping work.

Lastly, we would like to mention slab track. Japan has about 40 years of practical experience with slab track. The initial construction cost of slab track has been reduced to about the same level as that of ballasted track. Compared to ballasted track, maintenance costs for slab track are considerably lower. Newly constructed Shinkansen lines in Japan have adopted slab track for almost the entire length. However, replacing the Tokaido Shinkansen's ballasted track with slab track is unrealistic on account of the overall economical efficiency and difficulty in performing such work during daily train operation. Therefore, we will continue in our endeavor to make further advances with ballasted track.

Résumé

Le Tokaido Shinkansen, le premier train à grande vitesse du monde ($V \geq 200 \text{ km/h}$) a célébré son 50^{ème} anniversaire en 2014. Aujourd'hui il est connu comme « l'artère principale du Japon » et relie les villes les plus importantes, dont Tokyo, Yokohama, Nagoya, Kyoto et Osaka. Avec 420 000 voyageurs acheminés quotidiennement par 342 trains en moyenne, il joue un rôle important en assurant les opérations de transport à un tel volume et une telle fréquence sur cette artère. La maintenance de la voie est exécutée pour la sauvegarde de la sécurité mais aussi pour assurer la ponctualité et le confort des déplacements.

Avant la construction de cette nouvelle ligne, des travaux de recherche et de développement en matière de voies à grande vitesse furent entrepris sur base des techniques et expériences éprouvées et obtenues sur les lignes conventionnelles du Japon ($\approx 100 \text{ km/h}$) et sur celles recueillies dans d'autres pays ($120 \sim 160 \text{ km/h}$). La construction de voies sur dalle fut envisagée, mais les analyses et essais théoriques ont amené à la conclusion que les voies ballastées pouvaient être utilisées et que leur maintenance était économiquement justifiée sur les lignes à grande vitesse. Au cours des deux à trois ans après le démarrage de

l'exploitation commerciale, le tassement de la plateforme rendit nécessaire d'importants travaux de bourrage. Par la suite la plateforme se stabilisa et le remplacement des rails de 50kg/m par des rails de 60kg/m rails permit de réduire le volume nécessaire de travaux de bourrage.

En 1987, les Chemins de Fer nationaux du Japon (*Japan National Railway - JNR*) furent privatisés et *JR-Central* fut chargé de l'exploitation ferroviaire et de la maintenance des installations du Tokaido Shinkansen. Depuis, la maintenance de la voie du Tokaido Shinkansen a connu l'évolution illustrée par les exemples ci-dessous.

La vitesse d'exploitation est passée de 210km/h à 220km/h en 1986, la dernière année de fonctionnement de *JNR*. A cette époque, le confort de marche se détériora en particulier à cause de l'oscillation latérale des voitures. Pour réagir à ces défauts d'alignement à ondes longues, une nouvelle méthode de maintenance fut développée qui améliora sensiblement le confort de marche. L'élimination de défauts d'alignement à ondes longues permit aussi de réduire les travaux de réaligement étant donné que les forces dynamiques latérales associées aux mouvements latéraux et de tangage des voitures furent supprimées. En 1992 la vitesse d'exploitation fut une nouvelle fois augmentée et passa à 270 km. Le poids des nouvelles voitures développées pour l'augmentation de la vitesse fut sensiblement inférieur afin de ne pas augmenter les vibrations au sol et le besoin en maintenance de la voie. Par cette mesure, non seulement la charge par essieu fut réduite, mais aussi la masse non-suspendue fut allégée. Ces contre-mesures eurent l'effet de réduire l'augmentation du besoin en maintenance de la superstructure dû aux vitesses accrues. La gestion de la rugosité longitudinale du rail et de la section transversale du rail est tout aussi importante pour la réduction des travaux de maintenance de la voie ballastée. S'agissant de la rugosité, le tassement de la voie est évité grâce à la réduction de la charge dynamique de roue, alors que pour la section transversale du rail, la déformation plastique latérale de la voie est supprimée par la réduction des forces latérales dynamiques causées par le tangage du bogie. Ces résultats sont obtenus moyennant le meulage des rails et des mesures de gestion de la qualité de la part des fournisseurs des rails. De plus, la mécanisation des travaux sur la voie et un matériel de maintenance de la voie plus performant ont donné lieu à des interventions de maintenance plus efficaces. Aujourd'hui, les coûts de maintenance se trouvent inférieurs aux coûts d'il y a 20 ou 25 ans, malgré l'accroissement des vitesses.

Un autre exemple d'amélioration de la maintenance de la superstructure dont nous nous occupons aujourd'hui sont les inégalités longitudinales de la voie à ondes plus courtes, d'environ 5 m de long. Bien que dans l'ensemble la voie du Tokaido Shinkansen soit dans un excellent état, les inégalités à faible longueur d'onde ont tendance à se manifester dans des sections limitées, qui nécessitent des travaux de maintenance plus fréquents. Actuellement nous utilisons des méthodes théoriques et pratiques pour l'identification des causes de ce phénomène et pour le développement de méthodes permettant de réduire les travaux de bourrage.

Pour finir nous abordons la question de la voie sur dalle. Le Japon dispose de 40 ans d'expériences pratiques avec la voie sur dalle. Les coûts de construction initiale de la voie sur dalle ont été réduits approximativement au même niveau que ceux de la voie ballastée et les coûts de maintenance de la voie sur dalle ont été sensiblement inférieurs. Pour les lignes Shinkansen nouvellement construites au Japon, la voie sur dalle est utilisée presque sur leur longueur totale. Il n'est cependant pas réaliste d'envisager le remplacement de l'ensemble des voies ballastées du Tokaido Shinkansen par des voies sur dalle, compte tenu des considérations économiques générales et en raison de la difficulté d'effectuer ces travaux durant l'exploitation journalière. Pour cette raison nous allons poursuivre nos efforts de progresser dans le domaine de la voie ballastée.