

# 東北・上越新幹線におけるスラブ軌道の 適用に伴う問題点とその解決

## THE PROBLEMS IN APPLICATION OF SLAB TRACK TO TOHOKU AND JOETSU SHINKANSEN AND THEIR SOLUTIONS

渡 邊 借 年\*  
By Kainen WATANABE

Slab track has been introduced as a standard track on rigid roadbed for Sanyo SHINKANSEN between Okayama and Hakata which came into operation in 1975 and its effect on maintenance saving has been recognized. However, in application of it to Tohoku and Joetsu SHINKANSEN lines, new problems arose such as, introduction of new analysis method for designing, development of track slab and cement-asphalt mortar for cold climate use which are required to have an increased durability, abatement of noise and vibration in train running. In this paper is described new developments to solve those problems.

*Keywords : railway track, unconventional track, slab track shinkansen*

### 1. ま え が き

在来の有道床軌道では、列車が通過するたびに道床の残留変位が蓄積し、軌道の形状が損なわれる。この修復に軌道補修作業の大半が費やされ、多大な労力と費用が必要となってくる。軌道構造からこの保守要素をなくすことは、長年の軌道関係者の願望であった<sup>1)</sup>。

このため世界各国で非在来型軌道の開発が試みられ、アメリカならびにヨーロッパ各国において多くの研究がなされている<sup>2)</sup>。

日本でも昭和4年頃からトンネル内直結軌道としてその研究が始められ、昭和40年代の始めにスラブ軌道として構想が固まり<sup>3)~5)</sup>、引続き各地における試験敷設を経て、昭和50年に開業した山陽新幹線岡山～博多間において本格的に採用されるに至った<sup>6)</sup>。その後、東北・上越新幹線に向けて検討が進められ、山陽新幹線で明らかになった騒音・振動に関する環境問題の解決、そして厳しい寒冷積雪の地域への適用のため、防振構造の採用、軌道スラブ下部に填充する新填充材の開発そして軌道スラブの耐久性の向上等の技術開発が行われた。

本報告は、すでに報告されている山陽新幹線でのスラ

ブ軌道<sup>7),8)</sup>の実績を踏まえた、これらの技術開発について全体的視野で整理したものである。

### 2. 山陽新幹線におけるスラブ軌道の実績

#### (1) 敷設の概要と基本構造

新幹線におけるスラブ軌道は、新大阪～岡山間における延長約16kmの試験敷設<sup>9)</sup>を経て、岡山～博多間の高架橋とトンネル区間に全面的に採用されることとなり、表-1に示すように本線軌道延長の68%にあたる545.2kmに敷設された。

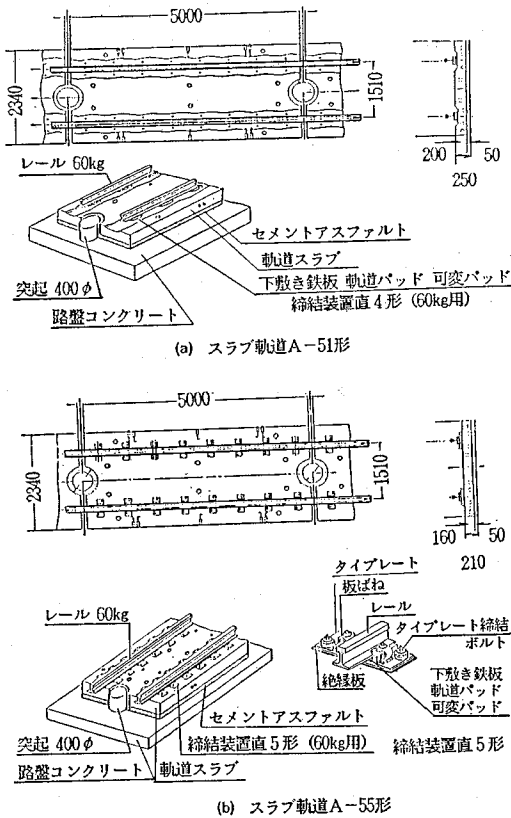
このスラブ軌道は、明り区間用がA55形、トンネル区間用がA51形と称され、その構造は図-1に示すとおりである。

その概要は、レールをレール締結装置を介して鉄筋コンクリート製軌道スラブ(長さ4.95m、幅2.34m、厚さ16cm)に直結し、この軌道スラブを、その下部にセメントアスファルトモルタル(以下「CAM」と略記す

表-1 山陽新幹線における軌道構造別敷設延長

線 名	軌道延長	スラブ 軌道延長	スラブ 軌道化率
山陽新幹線 (新大阪～岡山間)	328.8 km	15.8 km	5 %
山陽新幹線 (岡山～博多間)	795.2	545.2	68

\* 正会員 (財) 鉄道総合技術研究所専務理事  
(〒185 国分寺市光町 2-8-38)



図一 山陽新幹線におけるスラブ軌道

る)を充填して、剛性路盤上に全面支持するものである。また列車から作用する横荷重や温度変化に伴うロングレールの軸方向力等については、軌道スラブ両端の路盤コンクリート上に設けられた定着用突起によって対処する。

(2) 初期における問題点

山陽新幹線は、昭和50年3月に開業し、同60年度までに累積通過トン数は、岡山以西で約1億8300万トンに達している。この間スラブ軌道には、主として開業当初において、初期故障の問題が多く発生した。その主なものは、レール締結装置の弛緩、脱落、ロングレール端部の伸縮継目付近における定着用突起周辺のCAモルタルの圧壊と突起の変状、トンネル内における信号絶縁性の低下等である。特にレール締結装置の弛緩については、その締め直しに多くの労力を要し、開業直後においては、スラブ軌道に対する全保守作業量の24%を占める状態であった。また、まれな現象とはいえ、信号絶縁性の低下は、列車の正常な運行を支障するものであり、ボルト弛緩対策とともに直ちに対策が講じられた。さらにこれ以外にもいくつかの問題が生じたが、上記の問題を含め適宜対策を講ずることによって、大きな障害に発展することなく現在に至っている。これらの問題点とこ

れに対する対策をまとめたのが表-2である。

これらは、いずれも従来の軌道とは異なるスラブ軌道特有の問題であり、以後のスラブ軌道の設計改良に反映されることとなった。

(3) 保守実績

山陽新幹線のスラブ軌道区間における軌道狂いの保守管理目標値超過箇所を、有道床軌道区間のそれと比較すると図-2のとおりである。

スラブ軌道区間の高低狂いについては、開業当時には7mm以上の超過箇所が1km当たり0.5か所であったが、昭和59年現在1km当たり0.1か所で安定した状態にある。一方、有道床軌道区間では開業時から3年経過後で1km当たり0.5か所となっており、スラブ軌道の採用による軌道狂いの低減効果は明らかで、特に開業当初から良好な状態が得られていることが注目される。通り狂いについては、スラブ軌道も必ずしも良好な

表-2 山陽新幹線開業初期にスラブ軌道に発生した問題点とその対策

問題点	原因	対策
直結5形締結装置の弛緩、脱落	直結5形締結装置の緊締トルク管理の難しき	改良ボルト緊締機の開発 アダプターの取付け パネワッシャーの取付け
突起の変状	ロングレール可動端における締結装置の締め過ぎ	締結装置緊張力管理
トンネル内における軌道絶縁低下	トンネル内漏水 締結装置付近の汚染	トンネル内止水防止工の施工 締結部へ絶縁剤の挿入 締結装置付近の清掃
絶縁板や絶縁カラーの焼損による絶縁低下	レール負荷電流の地絡	レール電位低下 絶縁板、絶縁カラーの更迭
軌道スラブのクラック	突起周辺における応力集中等	樹脂による補修
新設期トンネル内における軌道スラブの塩害	海底トンネルにおける海水との接触	樹脂剤外、早強セメントモルタルによる補修
CAMでん充層と軌道スラブ間の隙間	軌道スラブの温度変形 CAM収縮	樹脂でん充
噴 泥	破壊されたトンネル内路盤への地下水の侵入	破壊された路盤へのセメントモルタルまたは樹脂の注入

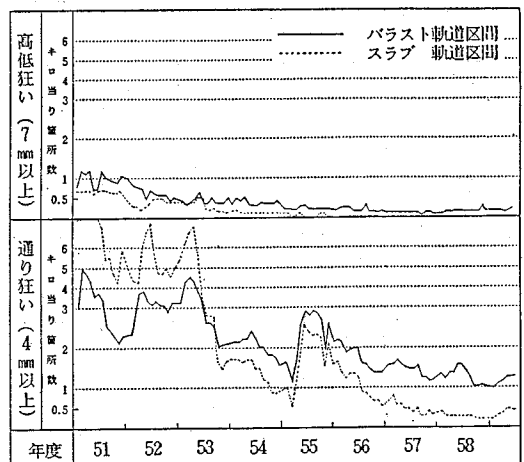


図-2 山陽新幹線(広島管理部管内)における軌道狂いの推移

状態ではなく、開業後に目標値超過箇所が増加し、有道床軌道より状況の悪い時期もあったが、現在は、有道床軌道区間に比べて優れたレベルにある。

スラブ軌道は有道床軌道に比較して、軌道狂い修正に若干手数を要するが、狂い進みがきわめて小さいので、いったん修正を行うと以後の保守量は大幅に少なくなっている。

スラブ軌道と有道床軌道の保守費を比較したのが表-3である。

この表において高低狂いに関係する有道床軌道の総つき固めおよびむら直し作業と、スラブ軌道のむら直し、填充層補修およびパッド類補修作業を、これに要した費用で比較すると、昭和50年～59年の10年間の平均で有道床軌道の5.1百万円/km/年に対し、スラブ軌道では0.7百万円/km/年で前者の14%となっている。

また通り狂いについては、高低狂いに比較して保守投入量そのものは少ないが、通り直し作業に要した費用を

比較すると、同じく10年間の平均で有道床軌道の32万円/km/年に対して、スラブ軌道は6.5万円/km/年で、その比率は20%である。

以上のことで明らかなように、スラブ軌道では、有道床軌道に比べて軌道狂いの保守費が大幅に低減しており、当初意図した省力化の効果が確認された。

### 3. 東北・上越新幹線への適用における問題点とその対策

#### (1) 適用における問題点

東北・上越新幹線の建設決定の時点で、2.に述べたスラブ軌道の実績が得られていたわけではなかったが、当時の社会経済的條件の将来推移を含めた判断に基づき、東北・上越新幹線でもスラブ軌道が全面的に採用されることとなった。

この際、山陽新幹線における敷設経験<sup>9)</sup>とその後の調査試験の結果<sup>10)</sup>などから、スラブ軌道の適用にあたっては、新たに考慮すべき問題が予測された<sup>11)</sup>。

その主なものは以下のとおりである。

(1) スラブ軌道区間では、210 km/h の速度領域において、有道床軌道区間より騒音が高い。

(2) 東北・上越新幹線沿線は寒冷・降雪地域であり、気温、気象による軌道スラブおよびCAMの性能低下や劣化が予測される。

(3) 営業線における軌道スラブの応力の実測値と設計計算値がかなり異なり、解析法に矛盾がある。

このうち、(1)については、環境基準により東北・上越新幹線における沿線騒音が、開業時80 dB(A)以下を目標とすることになったため、他の諸対策と併せて、軌道における騒音対策が不可欠とされ、防振スラブ軌道の開発が急務となった。

また(2)のうち、軌道スラブについては、ひびわれに侵入した雨水の凍結による劣化が懸念されたことから、ひびわれ防止策が検討の対象となった。しかし、軌道スラブのように偏平な部材をPC (Prestressed Concrete) 構造とした場合、PC鋼棒の支圧部に無理が生じ、また変形のおそれもあって、不経済な設計となることから、RC (Reinforced Concrete) 構造とPC構造の利点を併せ持つPRC (Prestressed Reinforced Concrete) 構造の軌道スラブの開発が必要と考えられた。また、CAMについては、耐寒性能の向上が不可欠であると考えられた。

(3)については、山陽新幹線のスラブ軌道は軌道スラブおよびこの上に支持されるレールをそれぞれ弾性床上的のりとして設計していたが、平板上に有限間隔でレールを締結したより実際の構造に則したモデルを用い、有限要素法を用いた解析を行うことが必要であると考えら

表-3 山陽新幹線における有道床軌道とスラブ軌道の保守量および保守費の比較

(単位) 軌道延長: km  
 1-年 延設: km  
 道床量: m<sup>3</sup>  
 金額: 百万円

作業種別	軌道種別 保守費/年度	有道床軌道					計
		50~51	52~53	54~55	56~57	58~59	
総つき固め	金額	541	546	593	558	528	2766
	軌道延長	365	343	341	338	362	1689
むら直し	金額	1197	1244	1084	1039	1001	5565
	軌道延長	426	374	259	237	231	1427
通り直し	金額	140	135	107	80	55	517
	軌道延長	118	156	71	48	35	428
締結補修	金額	39	100	120	137	66	462
	レール延長	212	500	483	496	229	1920
その他	金額	787	1143	1454	1670	1468	6522
計	金額	2704	2988	3355	3484	3118	18767
杆当り	金額	(A)9.4	(B)9.3	(C)10.4	(D)10.9	(E)9.7	

作業種別	軌道種別 保守費/年度	スラブ軌道					計
		50~51	52~53	54~55	56~57	58~59	
むら直し	金額	69	170	236	362	281	1118
	軌道延長	12	13	16	27	18	86
通り直し	金額	34	45	61	48	28	216
	軌道延長	37	33	32	27	17	146
てん完用	金額	31	41	41	49	27	189
補修	金額	1188	2109	2308	2804	1400	9009
パッド類	金額	171	155	329	259	123	1037
	補修	軌道延長	9.90	15.39	24.58	19.47	9.05
その他	金額	90	318	525	617	521	2071
計	金額	385	729	1187	1335	980	4626
杆当り	金額	(a) 0.6	(b) 1.1	(c) 1.8	(d) 2.1	(e) 1.5	
工事投入額 労働力投入及 び軌道総量		839	138	0	0	172	1149
合計		1234	867	1187	1335	980	6803
杆当り		1.8	1.4	1.8	2.1	1.5	9.0
各年度別平均軌道に対する スラブ軌道の保守費の比率		$\frac{a}{A}=0.07$	$\frac{b}{B}=0.12$	$\frac{c}{C}=0.17$	$\frac{d}{D}=0.19$	$\frac{e}{E}=0.15$	

注) バラスト軌道延長: 161.218km  
 スラブ軌道延長: 327.782km  
 昭和59年は見込みである。

れた。

以上のことから、スラブ軌道を東北・上越新幹線へ適用するに際し、新たに下記の検討を進めることとした。

- (1) 防振スラブ軌道の開発
- (2) PRC 軌道スラブの開発
- (3) 寒冷地用 CA モルタルの開発
- (4) 合理的な解析手法の導入

以下にその経緯を述べる。

(2) 防振A形スラブ軌道の開発

新大阪～岡山間開業に先立って実施された951形式電車走行試験で、スラブ軌道区間の騒音は有道床軌道区間のそれに比べ、高い周波数領域で大きくなっていることが明らかにされ<sup>11)</sup>、騒音・振動を低減できる防振型スラブ軌道の開発が必要と考えられた。

騒音・振動の低減に関しては、軌道支持ばね係数の値が小さいほど、特に高い周波数領域において大きな効果が得られることが、理論解析により明らかにされている<sup>12)</sup>。

そこで、当時有道床軌道区間において、著大輪重の発生と道床細粒化を防止するために道床下面に挿入して効果が確認されていたバラストマットに着目し、これを性能向上して耐久性を増したスラブマットを、従来の軌道スラブ下面に接着し、軌道支持ばね係数の低減を試みたものが図-3に示す防振A形スラブ軌道である<sup>13)</sup>。

これを実用化するに当たっては、スラブマットの耐久性、経済性および防振スラブ軌道上を走行する列車の走行安定性を考慮する必要があり、これらについての検討結果からスラブマットのばね定数の目標値は当初  $25 \times 100 \times 100 \text{ mm}$  の標準試験片で  $4.2 \text{ MN/m} \{4.2 \text{ tf/cm}\}$  とされた<sup>13)</sup>。この値は、それまでの実績および経済性を考慮して当時得られるスラブマットの弾性としては最小のものであり、高架橋上有道床軌道の支持ばね係数と同等で、列車走行上特に問題を生じるものではないと判断された。

この防振A型スラブ軌道は、昭和48年に、開業前の東北新幹線薬師寺高架橋、鉄道技術研究所日野土木実験所、武蔵野線高架橋において、開発の前段となる応力、変位、耐久性および動特性に関する基礎試験を行った後、

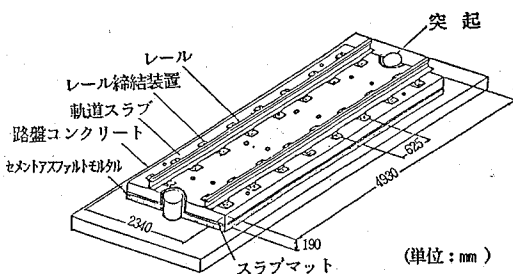


図-3 防振A型スラブ軌道構造

高速走行時における防振、防音性能ならびに走行安定性を確認するため、昭和49年～50年に山陽新幹線姫路駅構内、長坂寺高架橋、小坂西高架橋において試験を行った<sup>13)</sup>。

建設線における標準構造として敷設、試験を行った山陽新幹線小坂西高架橋(715K 152M 付近)における防振A型スラブ軌道と普通スラブ軌道の、列車速度に対する振動加速度レベルの比較では、防振A型スラブ軌道は普通スラブ軌道より4dB程度低くなっていたが、騒音レベルについては、2000Hz以上の高周波領域において高架橋直下で5～10dB低下したものの、騒音のA特性値では1dB(A)の低下にとどまった<sup>13)</sup>。このため、スラブマットのばね定数を標準試験片で  $2.4 \text{ MN/m} \{2.4 \text{ tf/cm}\}$  まで低下させることが試みられ<sup>14)</sup>、東北新幹線の軌道の本格施工に先立ち小山地区に設けられた新幹線総合試験線に、試験敷設してその性能確認試験を行った<sup>15)</sup>。

これに基づき防振A型スラブ軌道の騒音に対する効果を評価するに際しては、軌道構造以外の要因の影響を含む騒音レベルの測定値によるよりも音の発生源となるレールや高架スラブの振動速度を対象とする方がより客観的評価を与えることが考えられたので、高架スラブの振動速度に騒音の評価に用いる聴覚補正のA特性フィルターを掛けた結果で比較することにより、防振A型スラブ軌道の軌道構造による騒音低減値は普通スラブに比較して3dB(A)となり、防振A型スラブ軌道は、普通スラブ軌道に比べ明らかな低減効果が認められ、特に高周波域の騒音の抑制に効果があるものと考えられた。

(3) PRC 軌道スラブの採用

山陽新幹線の岡山～博多間に大量施工された軌道スラブにはRC構造が採用されたが、これには厳しい負荷を受けるレール締結部等において局部破壊を防止するとともに、早期強度を発現し製作の効率化を図る観点から富配合のコンクリートを使用することと、その偏平な形状のために乾燥収縮によりひびわれが発生しやすい条件下にあり、敷設されたものの一部に実際にひびわれの発生がみられた。

東北・上越新幹線に適用する軌道スラブについては、さらに騒音・振動防止の観点から、スラブマットにより支持ばね係数を低下させる防振スラブの導入が計画され、これによって増加する曲げモーメントに対処するためには単位コンクリート当たりの鉄筋量が増加し、これが乾燥収縮を拘束するので、より一層ひびわれを助長する可能性が高まることが予想された。寒冷地の厳しい気象条件下ではこのひびわれが凍害を促進し、重大な結果に発展する可能性もあると考えられたことから、従来行われてきた弾性設計法に代え、限界状態設計法を用いてひびわれ幅の制限を行うこととした。

ひびわれ幅の制限に関するプレストレス導入については、プレストレス構造(PC I種)で設計すると、断面が小さく荷重の大きい軌道スラブのような部材では、PC鋼棒定着部に局部破壊が発生するおそれのあることから、PC II種に相当するパーシャルプレストレスで設計されたPRC構造とするのが合理的であると考え、これを採用することとした。

その構造設計にあたり、考慮された条件は以下のとおりである<sup>16)</sup>。

- (1) 疲労検討軸重(124 kN——標準偏差の3倍の変動を考慮した荷重)が作用した場合、コンクリートに引張応力を生じないこと
- (2) 設計最大軸重(255 kN——車輪フラット<sup>注)</sup>)による最大衝撃軸重)が作用した場合にひびわれ幅が0.1 mm以下となること

具体的設計に際しては、ひびわれ幅を所定の値に抑制するための鉄筋の許容応力度とひびわれ幅の関係について検討を行った。図-4はこの結果を示したものであるが、これにより、鉄筋許容応力を100 MPa{1000 kgf/cm<sup>2</sup>}とすることによりひびわれ幅を0.1 mm以下とすることができることが明らかとなった。

また図-5は荷重の繰返し回数と残留ひびわれ幅の関係を示したものであるが、これにより鉄筋の応力を100

MPa以下とすることによって、200万回の荷重繰返し後も残留ひびわれ幅が0.1 mm以下とできることが明らかとなった。これらの結果に基づいて、寒冷地用の軌道スラブについては鉄筋の許容応力を100 MPaとすることとした。

以上により、寒冷地に適用するPRC軌道スラブの設計法が確立され、これが東北新幹線宇都宮および、上越新幹線金島以北の明り区間における標準構造として採用されることとなった。

(4) 寒冷地用CAMの開発

東北・上越新幹線に使用するCAMは低温時でも施工でき、かつ長期にわたって弾性・強度等を保持し得るものでなければならない。山陽新幹線で使用された温暖地用CAMについては、これを東北・上越新幹線に適用する場合、実験室における試験とその後の経験から以下の問題の発生が予想された<sup>17)</sup>。

- (1) 低温施工による長期特性への影響
- (2) 凍害による劣化
- (3) 物理特性の温度依存性

これらについては、施工上の対策のほか、次の(a)~(e)に示す組織構造特性を持つCAMの開発を進めた<sup>17)</sup>。

- (a) 緻密な毛細管構造
- (b) 低い透水性
- (c) 大きい応力緩和性
- (d) 氷晶圧の優れた緩和性
- (e) 小さい乾燥収縮と温度変形

この目的を実現するための具体的手段として次の(i)~(iv)の事項を発想し追求した。

- (i) 適性な構成材料と配合の選定による単位水量の減少。
- (ii) 良質な連行空気の適量導入。
- (iii) 急硬性セメントの使用による初期凍害の防止。
- (iv) ポリマー等の利用によるじん性と変形能力の向上。

これらの手段を活用してCAMの改質を繰り返し、種々の室内試験、施工性能試験、現地暴露試験を行い耐凍害性に優れた消泡AE型CAMが開発された<sup>18)</sup>。

この消泡AE型CAMの標準配合を表-4に、また、耐久性指数でみた耐凍害性を図-6に示す。

この図より明らかかなように消泡AE型CAMは在来型CAMに比べ性能の向上が著しい。

一方、静弾性率の温度依存性(温度の低下とともに静弾性率が増加する性質)はCA系複合材の不可避な特性であり、抜本的な改善は望めない。そこで、温度による物性変化に対し、実用面から軌道構造の理論解析および実験的検討を行った。その結果、低温時の静弾性率の増加は定着用突起への作用力を増加させるため、ゴム緩衝

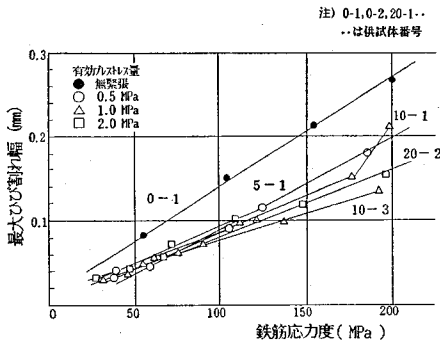


図-4 鉄筋応力度と最大ひびわれ幅の関係 (処女載荷時)<sup>8)</sup>

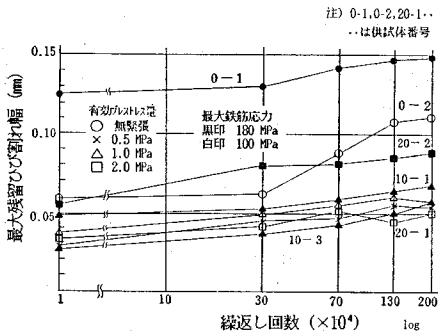


図-5 最大残留ひびわれ幅の変化<sup>8)</sup>

注) 制動時の滑走等により車輪路面に発生する摩耗痕

表-4 寒冷地用 CAM の標準配合 (m<sup>3</sup> 当たり)

早強セメント	混和材	アスファルト粉乳剤	細骨材	水	アルミニウム粉末	消泡剤	AE剤
255 kg	45 kg	490 kg	600 kg	105 kg	0.04 kg	0.15 kg	7.5 kg

- 1) 水とアルミニウム粉末は施工条件に応じて増減する。
- 2) 使用材料: a 細骨材 川砂、2.5mm以下、粗粒率=1.4~2.2、比重=2.55以上、吸水率=3%以下、粘土塊=1%以下、洗い試験で失われるもの=2%以下。  
 b 消泡剤 東芝シリコン TSA730  
 c AE剤 ヒソソル  
 d その他は在来型CAMと同じ

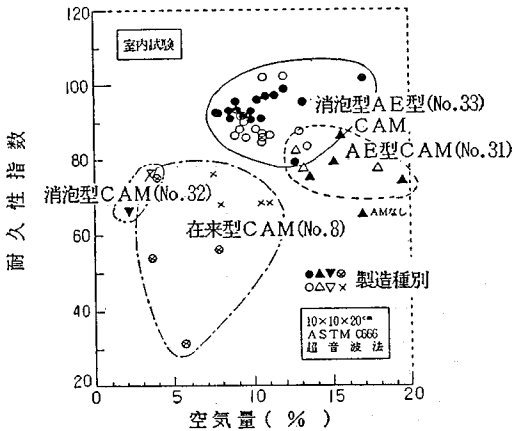


図-6 消泡 AE 型 CAM の耐久性指数 (耐久性指数は ASTM C-666 '75) の水中急速凍結融解試験による)

板を常用することによりこれを緩和させる必要があること、および CAM の温度依存性は支持ばね係数の増加につながり構造物の高周波振動を増大させるので、環境規制区域では防振スラブ軌道との併用が不可欠であると考えられた<sup>11)</sup>。

以上より開発された寒冷地用 CAMは、寒冷地とされる東北新幹線宇都宮および上越新幹線金島地区以北に全面的に採用されることとなった。

(5) 有限要素法による設計法

有道床軌道の変形解析は、弾性床の上のり理論によって行われ、スラブ軌道の解析も当初これに準じ2重ばりの理論によった。しかし、その後、測定が進むにつれて、この解析法に矛盾があることが見出された。すなわち、当初軌道パッドによる弾性係数 ( $k_1$ ) の線形ばねがレール下に様に連続的に分布しているものと仮定して計算されたが、その結果算出される各部の応力は実測値に比べ非常に小さいものであった。また、はり理論では軌道パッドの弾性を分散させるため、レール締結間隔が大きくなるとレール支持弾性係数が小さくなり、軌道スラブの曲げ応力度は小さくなる。しかし、実際の現象は全く逆であって、レール締結間隔が大きくなると、レール締結装置への輪重の集中度が大きくなるため、軌道スラブの曲げ応力度は大きくなる。さらに、軌道スラブはいわゆる平板構造であって、これをはりとして取り扱う

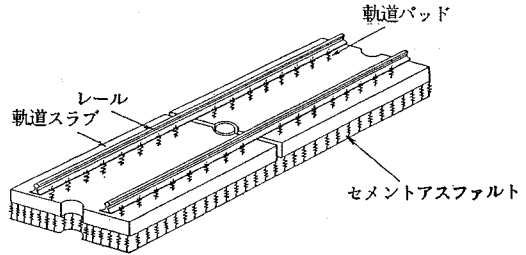


図-7 コンクリートスラブ直結軌道の応力解析のために提案された新しい静力学モデル

と、線路に直角な方向の解析は近似的なものとなってしまふ。

従来の解析方法には以上のようにいくつかの矛盾があることが明らかとなったので、図-7 に示すような新しい力学モデルが提案された<sup>19)</sup>。

このモデルではレールははりとして扱い、その支持弾性は、レール締結装置部分にある軌道パッドによって与えられる。またレールから軌道スラブへの力の伝達については、レール締結部ごとに1個の線形のばねがあるものとした。これによってレール支持弾性を分散させたことによる矛盾が解消される。軌道スラブはそのまま平板としてモデル化し、その支持弾性は線形のばねとしてモデル化した。

このモデルによる解析には境界条件の適用が容易な有限要素法を用いた。

以上のように、設計に際して板としての有限要素解析を導入した結果、従来の矛盾が解消されるとともに、支持ばね係数のより低い防振スラブ軌道に対しても精度の高い設計が可能となった。

4. 東北・上越新幹線における実績

(1) 敷設の概要とその後の推移

前章までに述べたところにより、スラブ軌道はその環境安全性と耐寒性を中心に大幅な改良が加えられ、その適用区分が表-5 のように定められて東北・上越新幹線の標準構造とされ、表-6, 7 にその敷設概要を示すように広範に採用され、高架橋区間のほぼ全線に用いられた<sup>20)</sup>。

東北・上越新幹線は大宮以北が昭和 57 年 6 月および 11 月にそれぞれ開業し、昭和 60 年 3 月には上野~大宮間が開業して本格営業を開始し今日に至っている。この間、スラブ軌道に関しては、開業当初において表-8 に示すような初期故障の問題が散見されたものの、同表中に示す対策を講じることによってこれらはいずれも解消されており、その改良に際して最も大きな課題とされた騒音問題および耐凍害性等に関しては、他の諸施策と相まって、所期の性能を有することが明らかにされつつある。

表-5 東北・上越新幹線用軌道スラブの適用区分

敷設場所	構造形式	形状寸法 (mm)					突起寸法 (mm)		記事	構造形式記号			
		長さ	幅	厚さ	切欠半径	鉄筋径	半径	高さ					
普通スラブ	明区 り間	温暖地 寒冷地	RC PRC	A-55M A-55C	4,930 4,930	2,340 2,340	190 190	230 230	20 30	200 200	250 250	スラブマット A-T-43-新使用	A-55M  軌道スラブの形式: A ... A型 スラブの長さ: 5 ... 突起間隔5m スラブ形式: 1 ... 断面式 5 ... タイル式 適用区分: M ... 温暖地用 C ... 寒冷地用 T ... トンネル区間用 N ... 防振スラブ
	トン ル区 間	直線	RC	A-51C	4,950	2,340	*200	250	30	200	200		
		線 路 及 び 坑 口 約 200m以 下	RC	A-55CT	4,950	2,340	160	230	30	200	200		
防ス ラ 板	温暖地	RC	A-55MN	4,930	2,340	190	230	20	200	250	スラブマット A-30-24 A-T-43-新使用		
	寒冷地	PRC	A-55CN	4,930	2,340	190	230	30	200	250			

(注) 1. 寒冷地とは、東北新幹線は宇都宮市以北、上越新幹線は金島地区以北とする。  
2. トンネル区間坑口より200mのスラブは、スラブマット (A-T-43-新) を使用する。  
3. \*A-51形スラブのスラブ厚は200mmとあるが、レール下面におけるスラブ厚は160mmである。

表-6 東北新幹線上野-大宮-盛岡間軌道構造別延長表

(単位: km)

軌道構造	区間	弾直	防振スラブ	普通スラブ	バラスト	計
上野-大宮		22.4	1.3	2.4	1.5	27.6
大宮-盛岡		18.3	110.3	295.5	45.8	469.9

表-7 上越新幹線大宮-新潟間軌道構造別延長表

(単位: km)

軌道構造	区間	弾直	防振スラブ	普通スラブ	バラスト	計
大宮-新潟		11.7	57.2	186.2	14.4	269.5

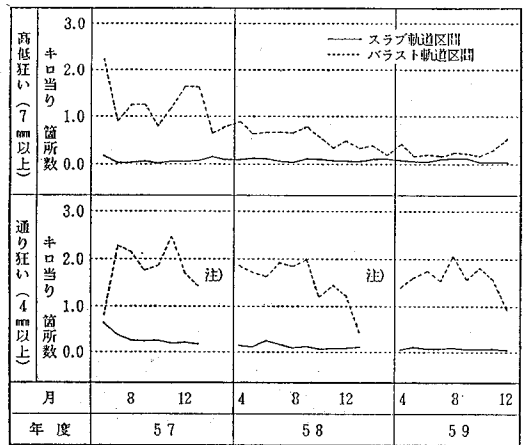
表-8 東北・上越新幹線建設時および開業後にスラブ軌道に発生した問題点とその対策

問題点	原因	対策
EJ用HMP (伸縮継目用 Hot Melt Packing) 区間におけるレールと床板の間隙	レールと床板の間隙の不確認	・ 施工管理の徹底
トンネル内における軌道スラブの反り	トンネル内の湿度および温度	・ 軌道スラブの反りに季節変化があることを確認し反りが最も小さい時期にレール敷設
スラブマットの接着剤の流出	接着剤の混合不良	・ エポキシ系接着剤による補修 ・ 無溶剤耐水水性ポリウレタンの開発
スラブマットの剥離	指およびレールの伸縮による軌道スラブの移動	・ はみ出したスラブマットを切断し、山形環と樹脂による補修
定着突起周辺のCAMの破損	レールおよび伸縮継目可動部の錆つき、レール締結装置の締めすぎによるレールの滑動阻害	・ 緊結力の調整 ・ 錆落とし
絶縁カラーの破損	カバープレートとのなじみの悪さと止水油の影響	・ 新規製品との更換
絶縁板の破損	—————	・ SMC (Sheet Moulding Compound) の絶縁板の使用
長波長軌道狂いの発生	桁のたわみにより桁長に等しい波長の狂いの発生	・ レール面の修正、可変パッドまたはHMPの再施工による狂いの補修、これでも不可能な場合は、調整用鉄板を絶縁板の下に挿入

(2) 保守実績

東北・上越新幹線は全線の 90% 以上にスラブ軌道が採用され、その軌道状態は非常に良好な状況にある。軌道狂いの発生割合を示す整備目標値超過箇所数は開業後図-8 のように推移している。

保守費に関しては有道床軌道 3.1 百万円/km/年であるのに対し、スラブ軌道では 0.4 百万円/km/年でその比率は 13% 程度である。この比率は、2. に述べた山陽新幹線における値を下まわるものであるが、東北新幹線では、輸送量が少ないことなどにより、初期故障分を含



注: 漏電流方式による測定のための比較にはいない

図-8 東北・上越新幹線における軌道狂いの推移

め保守費自体は山陽新幹線の 6 割程度にとどまっている。

5. あとがき

山陽新幹線におけるスラブ軌道の経験は、その省力化軌道としての優れた性能を示したが、東北・上越新幹線への適用に際しては、新たに困難な問題が提起された。これらの問題については、本文に述べたところにより解決が得られ、高速、高密度鉄道における軌道構造として当時における最適解に近いものを提供し得たと考える。

しかしながら、鉄道の軌道は、本来経験によってその進歩が図られるものであり、本格採用以来高々 10 数年の経験しかもたないスラブ軌道にはまだ未知の部分も多く、今後も引き続いた研究が必要と考える。

なお以上は、著者が国鉄・本社新幹線建設局軌道課長ならびに同技研・軌道研究室長時代にその研究開発を進め、副技師長時代に完成をみたものについて整理し報告するものである。最後に、この報告をまとめるに当たって、終始適切なお助言と暖かいご支援を頂いた元国鉄鉄道技術研究所軌道研究室、構造物研究室、同本社施設局保線課ならびに新幹線建設局軌道課の関係各位に対して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 渡邊借年：省力化軌道の技術開発—推移・現状・展望—, 鉄道技術研究資料, No. 36-1, pp. 4~12, 1979年1月.
- 2) 渡邊借年・古賀徹志：非在来形軌道に関する文献調査, 鉄道技術研究所速報, No. A 87-211, 1987年3月.
- 3) 佐藤 裕：新軌道構造開発の展望, 鉄道技術研究報告, No. 580, 1967年4月.
- 4) 無道床軌道構造研究グループ：コンクリートスラブ式アスファルトてん充軌道の開発, 鉄道技術研究報告, No. 632, 1968年4月.
- 5) 無道床軌道構造研究グループ：マット調節型軌道の開発, 鉄道技術研究報告, No. 663, 1968年12月.
- 6) 磯浦克敏・山口 章：山陽新幹線（岡山～博多間）の軌道構造, 鉄道線路, 23巻3号, pp. 17~26, 1975年3月.
- 7) 佐藤 裕・桶口芳朗：道床部に着目した新軌道開発, 土木学会論文報告集, No. 185, pp. 91~105, 1970年12月.
- 8) 北沢秀勝・坂 芳雄：スラブ軌道の開発と実用化, 土木学会誌, 57巻9号, pp. 47~52, 1970年10月.
- 9) 安部成博・椎名公一：山陽新幹線の軌道, 鉄道線路, 20巻3号, pp. 5~16, 1972年3月.
- 10) バラストレス 軌道構造研究グループ：新幹線スラブ軌道の動的性状, 鉄道技術研究所速報, No. 72-131, 1972年7月.
- 11) 渡邊借年：東北・上越新幹線用スラブ軌道の技術的検討, 鉄道技術研究報告, No. 1360, 1987年3月.
- 12) 佐藤吉彦：軌道高周波振動の理論解析, 鉄道技術研究報告, No. 1013, 1976年8月.
- 13) 防振A型スラブ軌道開発グループ：防振A型スラブ軌道構造開発の経緯, 鉄道技術研究所速報, No. 76-137, 1976年10月.
- 14) 西頭常彦：コンクリートスラブ式直結軌道の構造とその設計に関する研究, 鉄道技術研究報告, No. 1047, 1977年8月.
- 15) 渡邊借年ほか：新幹線総合試験線（小山地区）昭和53年度試験報告, II 軌道における各種試験, 鉄道技術研究所速報, No. 79-117, 1979年11月.
- 16) 寺島 優：東北新幹線用軌道スラブの設計, 構造物設計資料, No. 51, 1977年9月.
- 17) 省力化軌道構造研究グループ（主査：渡邊借年）：寒冷地スラブ軌道用CAモルタルの改良, 鉄道技術研究所速報, No. 78-65, 1978年5月.
- 18) 原田 豊・鳥取誠一・板井則之・野戸崇治：耐凍害性セメントアスファルトモルタルの開発に関する研究, 鉄道技術研究報告, No. 1208, 1982年3月.
- 19) 西頭常彦：有限要素法による直結軌道スラブの設計について, 土木学会論文報告集, No. 219, pp. 83~93, 1973年11月.
- 20) 池上邦信・甲斐総次郎：東北・上越新幹線の軌道構造, 鉄道線路, 30巻7号, pp. 28~34, 1982年7月.

(1986.7.23・受付)