

# 軌道構造について

文献調査委員会

## 1. まえがき

東海道新幹線の計画時に、従来のバラスト道床にかわるバラストを用いない軌道が検討されたが、技術的に未知の分野が多く、新幹線のモデル試験線である区間に敷設されただけである。しかし新幹線のごとく高速でない場合には、以前から高架上とかトンネル内において、バラストを用いない軌道は採用されている。

軌道が備えるべき条件を考えると

- 1) 軌道の弾性
- 2) 縦剛性
- 3) 横剛性
- 4) 軌道狂いの修繕の要易なこと
- 5) 軌框間の電気絶縁性
- 6) 騒音の少ないこと

などがあげられるが、それに加えてコストの面で十分に採算の合うことである。軌道は定期的にあるいは定期的に大規模な保守を加えてはじめてその使命をまっとうする構造物であり、列車の速度、輸送トン数により、その破壊度合が変化するのは当然である。最適な軌道構造にするためには資本費と保守費の合計を最小とするとよいことは明らかであるが、保守費の算定は困難であり、目安として軌道破壊係数  $M$  を定義している。

$$M = L \cdot M \cdot N$$

$L$ : 荷重係数 = (車両係数) × (通過トン数) × (列車速度)

$M$ : 構造係数 = (道床圧力) × (一定の衝撃による道床加速度) × (衝撃係数)

$N$ : 状態係数 = ( $N$  についてはまだ定量化の方法はない、レール経年、レール継目の数など)

この関係から  $M$  が小さいほど保守費は少なくなり、通過トン数の多いところでは  $L$  が大きくなり、構造をよくして  $M$  を小さくする必要がある。

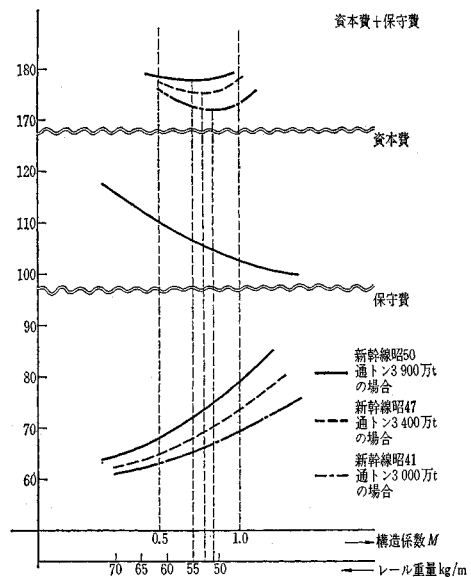
代表的な軌道の構造係数 (バラストとまくらぎの軌道) は表-1 に示したとおりであり、新幹線を例にとって、保守費と建設費の最適条件を求めたのが図-1 である。バラストとまくらぎを用いない軌道 (以下直結軌道と呼ぶ) が最適であるかどうかは、保守費が算定し難いので適確に判定はできないが、仮りに保守費が不要と考え、その保守費を利子に使用したとして、より高級な軌

表-1 代表的軌道構造の構造係数

軌道構造			構造係数 $M$
レール (kg)	まくらぎ (本)	道床厚 (mm)	
50	PC48	300	0.72
50	PC44	250	0.89
50	PC39	250	1.03
50	木 48	250	1.05
50	木 44	250	1.16
50	木 41	250	1.28
50	木 39	200	1.48
37	木 37	200	2.49
37	木 37	150	2.69
30	木 37	200	3.43
30	木 37	150	3.74
55	PC48	300	0.51
55	PC44	250	0.71

(50 kg PC 44 本/25 m, 200 mm の  $M$  を 1.00 とする)

図-1 バラスト道床の最適条件



道を作ったとしても、東海道新幹線の場合、表-2 の経費概要に対して、保守費は図-2のごとくなり、結局、現軌道の 50% 増し軌道が限界点となり、それ以上の軌道を作る場合はトンネル内に設け、掘削断面を減ずるとか高架の死荷重を減じ、経済的な設計をうながすなどの副的条件が必要となる。

このようなことからこれまでバラストとまくらぎの軌

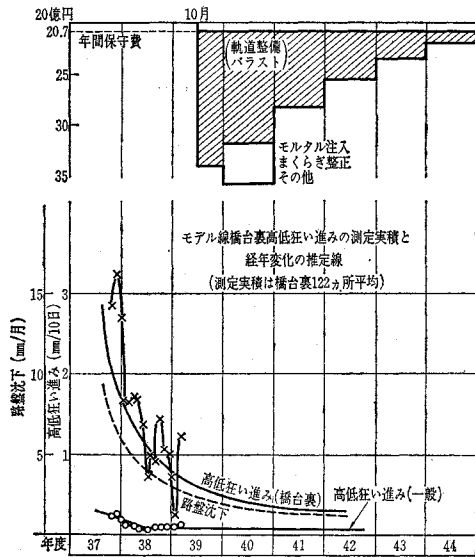
表—2

東海道新幹線経費概要			
上部構造	延長	工事費	単価/km
盛土	227.9 km	300 億円	1.3
橋梁	57.0	369	6.5
高架橋	114.8	345	3.0
トンネル	68.0	340	5.0
切取	47.6	38	0.8
	515.2 km		

軌道関係建設費

レール	55.3(億円)	軌道敷設	37.2(億円)
PCまくらぎ	87.7	レール溶接	4.6
その他まくらぎ	10.2	道床バラスト	44.6
EJ(道床)	9.4	通路整備	7.6
EJ(橋梁)	1.7	その他	12.3
分岐器	6.8		
その他	3.0	工務施設	20.4
合計	300.6 億円		$300.6/515.2=0.58$ 億円/km

図—2 施設修繕費の年度別見込

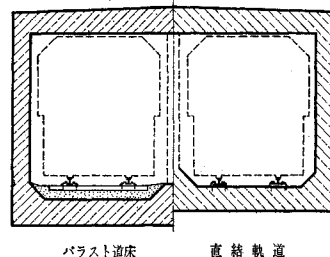


道が採用されてきたのであるが、ますます輻輳せる列車ダイヤと列車のスピードアップは、保線作業間合を極端に短縮せしめ、保周期の短いバラスト道床は致命的である。また都市部の高架化、山間部のトンネル化などで、盛土、切取上の軌道は減少し、基礎が高架スラブ上とかトンネルインパート上になる場合が増え、直結軌道を考えるべき条件が整っている。これに対して敷設場所の条件に応じて技術的にも経済的にも採算の合うように改革処理を加えた諸外国の軌道について調査した。

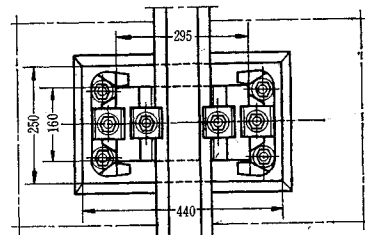
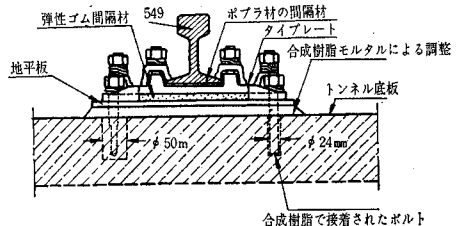
## 2. コンクリート版上に取付けた直結軌道

コンクリート版上に取付けた直結軌道としては、地下鉄、高架鉄道、トンネル（インパートのあるもの）などがあるが、図—3 に示すごとく、トンネルの掘削断面を減らし、例えばロングレールとしても温度変化が少なく、また変状も小さいことから、技術的にも、軌道の直結化のしやすい箇所である。図—4 に示したのはベルリン地下鉄の直結軌道で、トンネルの底板を利用してタイプレートを置き、タイプレートとトンネル底板の間を瀝青材で充てんしたものである。改良された点は、タイプレートの下にゴムパッドを敷き、弾性クッションとしたことにあり、締結装置は従来のK締結\* を使用している。上下方向の狂いは合成樹脂材をタイプレートの下に敷くことで調整するが、左右方向の狂いについては言及されてい

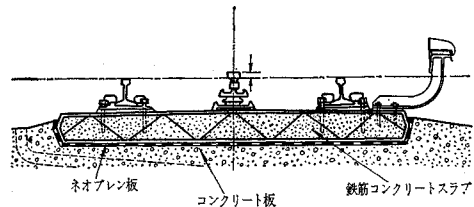
図—3 地下鉄トンネル断面



図—4 ベルリン地下鉄の直結軌道



図—5 ミラノ地下鉄直結軌道



\* 図—3、図—8 に示したごとく堅固な締結装置であり、パッドのパネ定数 300 t/cm 位をとっている。

図-6 ミュンヘン鉄道直結軌道

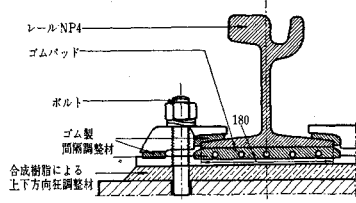


図-7 ドイツ国鉄トンネル内コンクリート板軌道

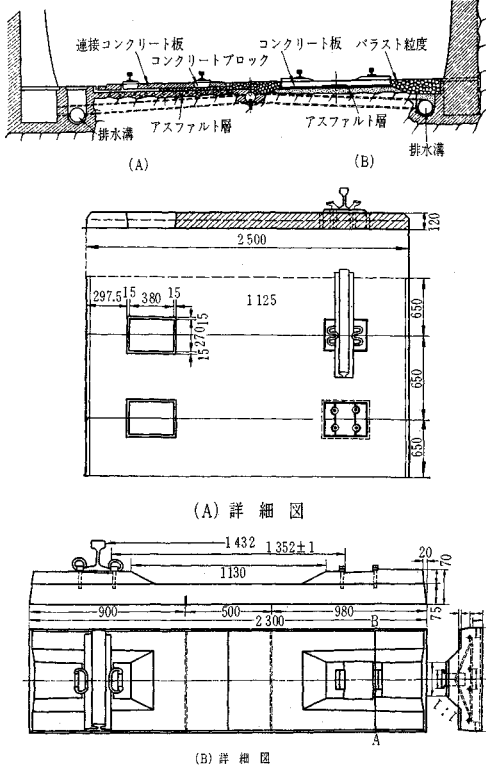
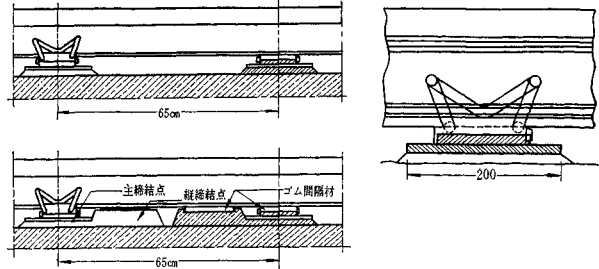
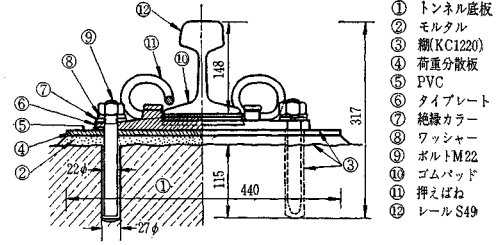


図-8 ハンブルグ高架鉄道の直結軌道



底板にはではないところが異なっているが、Schönstein トンネル—Troisdorf~Siegen 間 130 m—, Hengstenberg トンネル—Hagen~Brugge 間 233 m—に敷設されており、下部は堅固な岩盤でその上にアスファルト層を敷き連続したコンクリート板を置いたものである。構成はトンネル岩盤バラスト、アスファルト層 (50 mm 厚)、コンクリート板 (厚さ 120 mm) である。締結はコンクリート板にコンクリートプロットを埋めこみ (650 mm 間隔)、レール S49、ゴムパッドを敷いて締結した。この構造は、木製まくらぎの K 型軌道よりも若干高価であった。図-8 はハンブルグ高架鉄道の直結軌道である。Dr. Meier 設計、敷設指導したものであり、トンネル掘削断面の節約を考えたものであるが高架上に用いられた。レール下に 10 mm 厚のパッドを敷きタイプレートは 2 本のボルトでコンクリートに取付け、無ネジ釘方式でレールを押え、上下方向狂いの調整は 20~40 mm の合成樹脂層を敷き、その上に荷重分散板を敷きタイプレート間に PVC 電気絶縁材を約 1 mm 貼りつけたものである。実際に敷設したときは、主締結支持点と従支持点を敷き、主締結支持点の間隔は 1300 mm であった。この場合高架のため、ロングレールにしたときの温度応力に対する抵抗がとれず座屈に抗するかどうかは不明であるが、普通レールの場合はいいと思われる。図-9 はドイツで敷設されたもので、場所的にバラスト道床が不可能な合成桁あるいはコンクリート桁に應用されたものである。K 型軌道を改良したもので死荷重を減少させ、桁自体の設計を有利にしている。いままで述べたコンクリート板上の直結軌道はその狂いの調整、弾性のとり方など大同小異であるが、いずれもコンクリート構造物の変状とか施工誤差に対処するため苦勞している。

ない。図-5 はミラノ地下鉄に相当の長さ敷設されているもので、大型鉄筋コンクリート板上に弾性パッドを敷きレールをタイプレートを使って取付けたものである。鉄筋コンクリート板の下には、ネオプレンの板を敷き振動を吸収する設計である。工費は高いが、トンネル断面が節約でき、耐用年数が長い。また、おのおののコンクリート板の継目は「EMBECO」を入れ、目地材としている。図-6 はミュンヘン地下鉄のものであり、広いレール底面をもつ大型の溝つきレールであるが、直結軌道と格別関係はない。レールは堅いゴムパッドを敷き押え板で締結され、その締結間隔は 1 m である。狂い量の調整はベルリン地下鉄の場合と同じであるが、トンネル底板への振動伝ばは小さかったが、トンネル内に反響する騒音が非常に大きいものである。図-7 はドイツ国鉄のトンネル内に設けられているものであり、連続したコンクリート板にレールを直結したものである。トンネル

図-9 弾性支承上の軌道

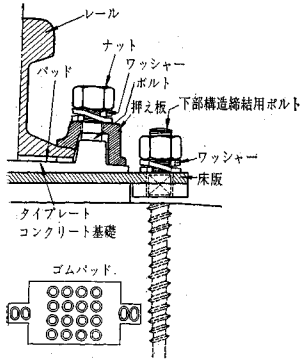


図-10 Köln 橋上直結軌道

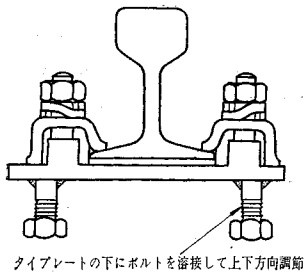
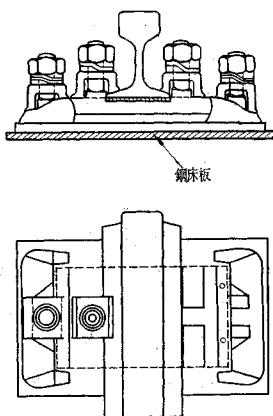


図-11



その狂いの調整を各締結点ごとに合成樹脂モルタルなどの注入あるいは鋼板の敷込みなどで整正することは理論的には可能であるが、実際の施工になるとなかなか困難で、結局はミラノのごとく連続鉄筋コンクリート板として端部における集中整正になるのではなからうか。

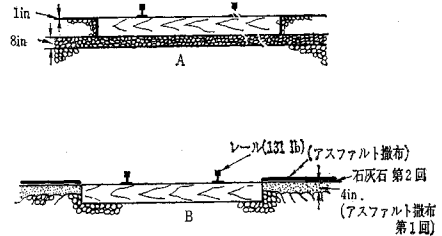
### 3. 鋼床板上の直結軌道

図-10 に示すのは Köln 橋上の直結軌道である。タイプレートの下にボルトを取りつけ、上下方向を調節した後、鋼床板とタイプレートの間を充てん仕上げたものである。またこの場所では 図-11 のごとく上下方向板を鋼床板に溶接し、その上にタイプレートを載せレールを締結した構造もとられた。

### 4. アスファルト処理道床軌道

図-12 はアスファルト スプレイにより道床を処理したものである。軌道狂いの発生は、道床部分についてのみいえば、バラストの圧密とはらみ出しによる狂いの発生であり、走行列車の振動によりバラスト間の摩擦抵抗が減り軌道が破壊されるのであるが、バラスト間の空気をアスファルトで充てんすることによりそれを防ごうとしたものであり、A は 1926 年ニューヨーク セントラル鉄道がオハイオ州ピラン駅構内 600 ft の区間に施工したものである。

図-12 アスファルト スプレイによる道床処理



結果は好成績を収めた。B はイリノイ セントラル鉄道が A の結果から改良して再度 1943 年に施工したものであり、保守費の年間節約は 22 万円/km と報告されている。その他サンタフェ鉄道などに試みられがいずれも好成績を出している。図-13 はドイツ国鉄の行なったもので、噴泥防止を目的としており、軌道構造に直接の関係はない。図-14 はフランス国鉄が 1934 年、パリの Nord 駅構内にタールマカダム舗装を行なったものであるがよい結果は出ていない。図-15 はスイス鉄道でアスファルト処理されたものであり、Rhaetian 線の Chur ~Rhaetian 駅間に設けられたもので展圧しアスファルト注入した碎石の 4 in の二層の上に R・S 型コンクリートまくらぎを置きロングレールを敷設した。まへらぎ下面はアスファルト層であるが、その上にはバラストが置かれている。水準はアスファルトとグラベェルの混合物でよく固め整正した。締固めには普通バラストを使用したので、グラベェルの移動はほとんどなかった。下層の圧密、はらみ出しもなかったので水準、高低狂いも起らなかった。

このため保守周期は長くなるが、建設費が少々高いので合成桁上での軌道に有効であると結論している。その

図-13

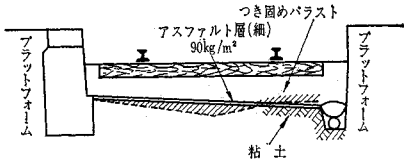


図-14

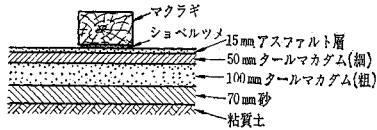
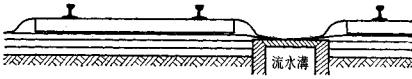
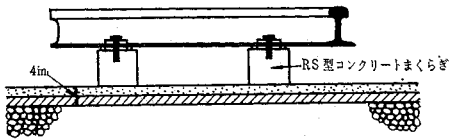


図-15

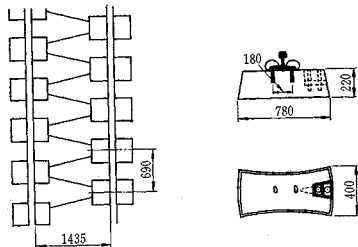


他わが国でもアスファルト処理軌道が盛んに実験されたが、その施工法、保守作業にまだ欠点が目立ち、今後さらに検討する必要があるように思われる。

## 5. その他特殊軌道構造

図-16 に示すのはオランダの Zig-Zag 軌道である。バラスト不足のオランダが考案したものであるが、まくらぎとレールをトラス構造に組んだものであり、長大レールの敷設を有利にするものであるが、通り直し作業が困難である。コストは従来のものとほぼ同じであり、オランダと日本の路盤条件などの類似から検討する価値あるものと思われる。その他モノレール、レールにゴムをくぶせたカバーレールなどが発表されているが省略する。

図-16 Zig-Zag 軌道 (オランダ)



## 6. 直結軌道構造についての案

図-17 は Köln のゴム協会の案で、これまでのトンネル内での振動、騒音を軽減しようとしたものである。レ

ール下に薄いゴム板を敷き、締結ネジは堅いゴムの円錐形ジベルに締めつけてあるが、コンクリート底板への取付けが困難である。この構造ではネジの支持力は非常に重要であり、たえず検査する必要がある。というのはレール下にやわらかいパッドを置いたため横圧、ブレーキ圧をネジの部分の吸収に頼るためである。図-18 は Herman Meier が提案した「保守不要の線路」(ein wartungsfreies Gleis) である。A はアスファルトとコンクリートまくらぎを使ったものであり、B はコンクリート板の上に調整板を置き、二重弾性締結とするものであるが、やはり保守の必要は生ずるものと思われるが寿命が長くなることは明らかであろう。図-19 に示すのはプレストレス コンクリート板にレールを直結する構造である。その締結方法については B, C のタイプが説明されているが、軌道自体の平面性が要求される点からプレストレスによる軌道板自体の狂いが問題になると思われる。この場合下部の路盤が堅固であれば、軌道板自体の強度はほとんどなくてもよく、RC で製作しても十分もつことから、その方向への改良が望まれる軌道である。図-20 は同じく板上軌道であるが、鋼床板になった場合である。A, B は鋼床板上に直結したものであり、C はストリンガーに直結したものである。Oskar Emmerich の提案になるもので、高速鉄道のための軌道構造とのサブタイトルがついており、今後の見とおしとして高速鉄道の安全性、保線作業の減少を約束するものと思われる。さらにアメリカの BARTD 計画においては、種々の軌道構造が試験敷設され検討されているが、詳細なことは不明であり省略する。

## 7. わが国の直結軌道

図-17 直結軌道の締結方法 (案)

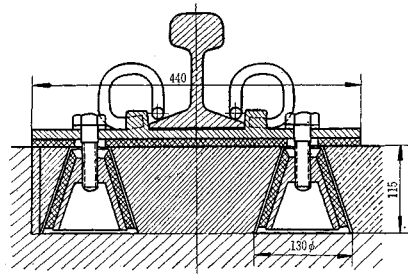


図-18 直結軌道の案

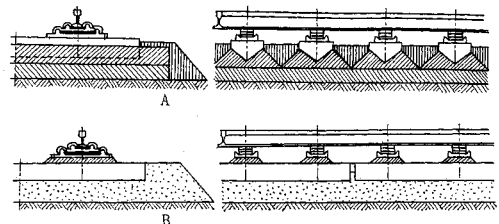


図-19 コンクリート板の軌道構造

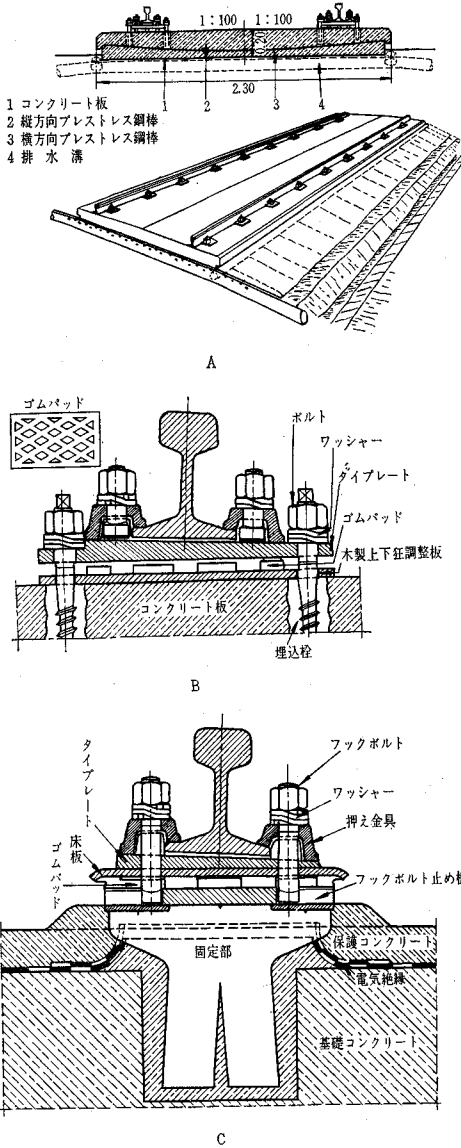


図-20 鋼板上の直結軌道

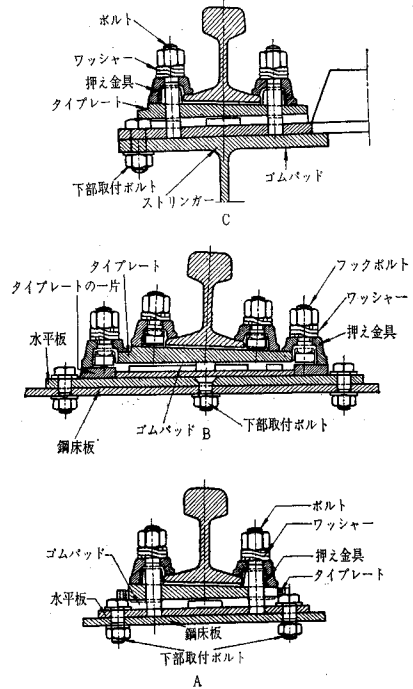
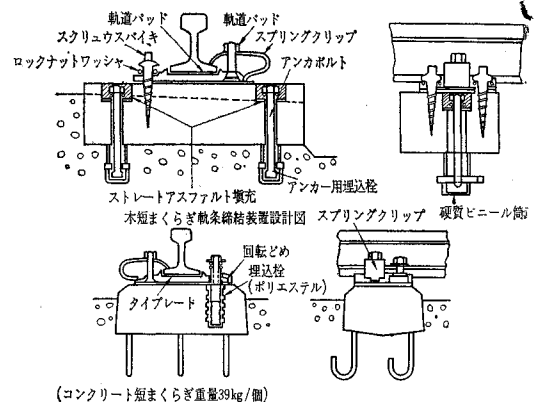


図-21 コンクリート短まくらぎレール締結装置設計図 (北陸トンネル直結コンクリート道床)



古くは関門トンネルの直結軌道から逢板山トンネル、北陸トンネル、深坂トンネルなどに直結軌道が採用されている。代表的な北陸トンネルの木短まくらぎ埋込み方式とコンクリートブロック埋込み方式の2種については図-21に示すとおりである。これは種々の難点を十分に検討改良されたものであり、理論的には不備の点はほとんどないが、実際の狂い量の調整には大変な保守量を要すると思われる。アスファルト道床についても総武線に現場敷設された実績があるが、実験室での研究結果のようないい実績は報告されていない。またわが国の地下鉄の直結軌道も種々の形式があるが、省略する。これら種々の調査の結果より直結軌道としたときは、以前のど

とくまくらぎごとの狂い矯正ではばく大な保守量となる(機械化が困難なため)ため、直結軌道としては、縦まくらぎ方式を取り、その桁端での集中調整によるのが望ましいというのは前述したとおりである。

その様式を取り現在国鉄で実験検討中の軌道構造を紹介する。図-22に示すものであり、(A)は平面図、(B)は側面図を表わしている。(C)、(D)については桁の受台の型式を違えたものであり、(D)の方が狂い調整用ブロックの数が少なくてすみ特徴がある。(E)は桁端部に設けた可動端と固定端を表わし、ロングレールの軸力温度応力の下部構造への影響をやわらげている。

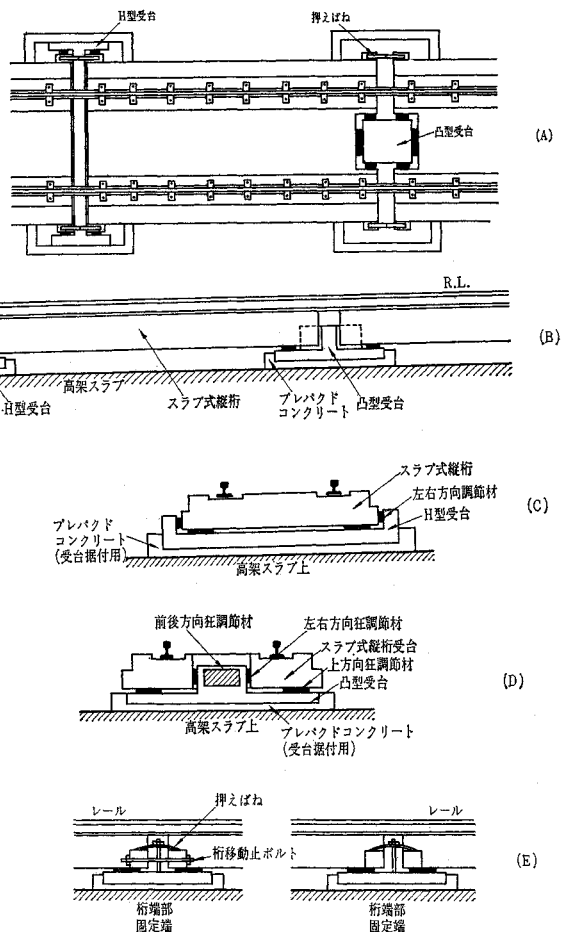
図-22 国鉄で実験中の軌道

## 8. あとがき

以上述べた各国の特殊軌道構造は条件に応じて十分検討されたものであり、それぞれの場合に応じて、好成绩を取っている。しかしこれまでの鉄道の概念をかえる、新幹線のごとき高速鉄道に対処するための軌道構造としては、まだ研究されるべき条件（例えば軌道整備限度がきびしくなったことなど）が多く、今後の研究開発を期待するものである。

### 参考文献

- 1) Emmerich: Eisenbahngleise auf Beton, E.T.R. (1955. 10)
- 2) Dabiat: Schwellenloser Oberbau auf der Hohen-Zollernbrücke in Köln, Eisenbahning (1959. 9)
- 3) Doll: Schienenfahrbahnen ohne Schwellen, E.T.R. (1961)
- 4) Hegel: Schierenbefestigung auf Beton unter Verwendung von Kunststoffkleben, Nahverkehrspraxis (1963. 10)
- 5) Herzog: Neuartiges Schierenbefestigung auf Beton oder Mauerwerk, Eisenbahning (1957. 7)
- 6) Riebel-Grabe: Schotter und Schwellenloser Oberbau, Verkehr und Technik (1961. 1)
- 7) Drechsel: Schwellenloser Oberbau im Tunnel, Eisenbahning (1960. 11)
- 8) Zeller Schaffernicht: Die Schotter betfreie oder elastisch Gleislagerung, ein wesentlicher Beitrag Zur Material einsparung, Bautechnik (1960. 10)
- 9) Meier: Pas Schwellenlose Gleis für Untergrundbahnen und Hochbahnen, Verkehr und Technik (1964. 7,8,9,10)
- 10) Proving ground for new ideas in track structure, Railway track and Structure (1965. 6)
- 11) Harter: Recent development in tunnel permanent way techniques, Bull. of I.R.C.A. (1961. 7)
- 12) Nagel: Bitumen in track construction, Bull. of I.R.C.A. (1963. 8)
- 13) Lovering: Asphalt base for RR crossing gives good results, Bull. of I.R.C.A. (1964. 9)
- 14) Experimental Ballast-Sealing with asphalt in the U.S.A., Railway Gazette (1959. 9)
- 15) Asphalt-coated ballast, Railway track & structure (1959. 7)



- 16) Report on asphalt treatment of Ballast and Bridge decks, Engineering Research division A.A.R. Research center (1961. 2)
- 17) Compacted Asphalt Ballast on the Raetian Railways, Railway Gazette (1961. 3)
- 18) 中村: 地下鉄の線路, 理工文庫
- 19) 安部: 日本における Zig-Zag 軌道の採用と問題点
- 20) 樋口: アスファルト道床の文献調査
- 21) 松原: 新幹線の軌道
- 22) 佐藤: 軌道力学

[担当委員 山口 雅三 国鉄鉄道技術研究所軌道研究室]

## 土質実験指導書改訂版頒布

土質実験指導書が刊行されてから2年半……この間多くの学校や職場で実験指導参考書としてご利用いただき好評を得ております。今回の改訂では各使用者の声を取り入れ、従来の15項目に新たに「土の三軸圧縮試験方法」を追加し16項目とし、それぞれの項目を 1. 目標, 2. 試験器具, 3. 試料, 4. 試験方法, 5. 計算および結果の整理, 6. 注意事項, 等々に分けて解説し、必要に応じて設問を設けるとともにデータシートへの記入例もとり入れましたので広くご利用下さるようご案内いたします。

体裁: B5判 64ページ データーシート 26葉  
定価: 320円