

軌道スラブ

小倉 雅彦*

1. 概要

鉄道の歴史は古いですが、軌道の基本構造には大きな変化はなく今日まで至っている。すなわち、レール、まくらぎ、バラスト（道床砕石）の三要素から成り立っており、列車走行により加えられるエネルギーをバラスト道床の変形によって吸収する構造である。

こわれやすく、保守しやすいこの構造は、材料費が高く、人件費が安い時代には最適な構造であった。しかし、昨今の状勢を見ると、輸送力増強による列車本数の増加や速度向上などにより生ずる軌道保守総量の増加に対して、軌道保守労力を確保することは、労働力供給をめぐる社会状勢の変化により困難になってきている。

そのため、軌道を抜本的に強化し、高精度で保守に人手のかからない省力化軌道の出現を望む声が高まり、種類の軌道構造を検討した結果、プレキャスト製品のコンクリートスラブを利用したスラブ軌道が最適構造として研究、開発され、実用化に至っている。

スラブ軌道の概略構造は、図-1 に示すとおりであり、高架橋のコンクリート版上に、弾性緩衝材および間隙充填材としてのセメントアスファルトモルタル層を介して軌道スラブ（以下、スラブという）を敷設し、スラブ上に軌道パット等のレール締結装置を利用してレールを設置した構造である。なお高架橋上には、5 m ごとに突起コンクリートと称する全円または半円のストッパー（直径 400 mm、高さ 200~250 mm）を設け、前述のセメントアスファルトモルタルをスラブとの間に充填し

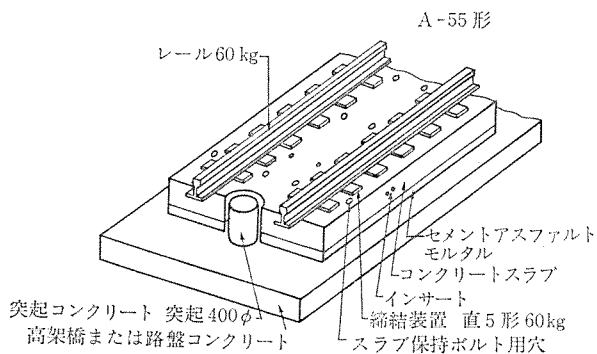


図-1 スラブ軌道の全体構造概略

* 国鉄構造物設計事務所

て、スラブの移動止めの機能をもたせている。スラブの形状寸法は、新幹線と在来線、温暖地と寒冷地、トンネル区間と高架橋区間という風に、敷設場所により少しずつ異なり、図-1 に示したように、幅 2000~2340 mm、長さ 4930~4950 mm、厚さ 160~190 mm の大きさで、両端にストッパー用の半円形の切欠き（半径250~280 mm）がつけられている。

2. PRC 構造の軌道スラブ

スラブ軌道は、在来線における試験敷設を経て、在来線では 190 km（昭和 55 年 3 月現在）、山陽新幹線では岡山~博多間の約 70% にすでに大量敷設され、当初の予想以上の省力化の効果を発揮している（表-1 参照）。また、現在、建設中の東北、上越新幹線では全線の約 90% にスラブ軌道の敷設が計画されている（表-2 参照）。

表-1 東海道・山陽新幹線の軌道構造別延長表

(線路延長: km)

線名 構造別	東海道 (東京~新大阪)	山陽 (新大阪~岡山)	山陽 (岡山~博多)
	延長	515.3	164.4
バラスト軌道	515.3	156.5	125.0
スラブ軌道	0	7.9	272.6

表-2 東北・上越新幹線構造物別スラブ軌道敷設計画延長表

(単位: km)

構造種別	東北(東京~盛岡)					上越(大宮~新潟)		
	総延長	0~51		51~496		総延長	スラブ延長	%
		延長	延長	スラブ延長	%			
トンネル	115	3	112	112	100	106	106	100
高架、橋梁	353	46	307	257	83.7	162	140	86.4
路盤	20	2	26	24	92.3	2	2	100
計	496	51	445	393	88.3	270	248	91.9

* 昭和 53 年 3 月時点の計画であり、0~51 については軌道構造検討中である。

開発当初より軌道スラブは RC 構造で設計、製作、敷設され、山陽新幹線、在来線でその性能、安全性が確認されてきた。しかし、軌道スラブの場合、レール締結部等の局部破壊を防ぐため、および、工場製作を考慮して早期に強度を発現させるために富配合のコンクリートを使用しているため、乾燥収縮による微細なひびわれが入

りやすい。東北、上越新幹線では、寒冷地にスラブが敷設されるため、この微小ひびわれが凍害を助長する恐れがあるので、きびしい気象条件にさらされる高架橋区間用のスラブを PRC 構造とすることにした。

3. 設計条件

3.1 設計荷重

東北新幹線の例で説明すると、スラブの設計荷重は表一3 のとおりである。東北新幹線の車両は、1 車両に 4 本の車軸があり、静止時に軌道に作用する荷重は 1 軸当たり 17t とされており、これを軸重と呼んでいる。1 車輪当たりの作用荷重（輪重という）は、軸重の半分の 8.5t となる。新幹線の場合、210 km/h 走行時の輪重変動を調査して標準偏差 ($\sigma=8.5t \times 15\%$) の 3 倍までを考慮し、常時、繰返しを受ける荷重として疲労検討輪重 12.4t を考えた。

表一3 東北新幹線用軌道スラブの設計荷重

	荷重	考 え 方	数 値
設 計 荷 重	軸 重	P_0	17 t
	設 計 輪 重	$P_f = P_0 \times 1/2 \times 3$	25.5 t
	異常時輪重	$P_f' = P_0 \times 1/2 \times 4$	34 t
	疲労検討輪重	$P_n = P_0 \times 1/2 \times 1.45$	12.4 t
	設 計 横 圧	$Q_f = P_0 \times 1/2 \times 0.8$	6.8 t
	疲労検討横圧	$Q_m = P_0 \times 1/2 \times 0.4$	3.4 t

また、ブレーキ等により車輪が摩耗し、レールと接触する部分に直線部が生じると、大きな衝撃が生じやすくなり、その際の輪重は静止輪重の 3 倍にも達する。この時の輪重を設計輪重と考えた。ただし、設計輪重は繰返し回数は少ない。

また、列車走行時、特に曲線部では、進行方向と直角方向に力が働き、これを横圧と呼んでいる。横圧の場合も、輪重と同様に繰返し横圧と設計横圧に分けて、設計荷重として考慮している。

3.2 材料の許容応力度

(1) コンクリート

a) 設計基準強度： $\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$

コンクリートの設計基準強度はスラブの工場生産の工程をも考慮して $\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$ と定められた。主として脱型時強度（製作用の型枠をはずして運搬、移動するのに必要な強度）から逆算された値である。

b) 脱型時強度およびプレストレス導入時圧縮強度：
 $\sigma_c = 300 \text{ kg/cm}^2$

c) 許容曲げ圧縮応力度

プレストレス導入時： $\sigma_{ca}' = 170 \text{ kg/cm}^2$

設計輪重作用時： $\sigma_c' = 130 \text{ kg/cm}^2$

d) 許容曲げ引張応力度

疲労検討時： $\sigma_{ta} \geq 0 \text{ kg/cm}^2$

e) 許容せん断応力度： $\tau_a = 11 \text{ kg/cm}^2$

f) 許容付着応力度： $\tau_{0a} = 20 \text{ kg/cm}^2$

g) 許容押抜きせん断応力度

レール締結装置部（鉄筋を計算しない場合）：

$$\tau_{pa1} = 3 \text{ kg/cm}^2$$

レール締結装置部（鉄筋を計算する場合）：

$$\tau_{pa2} = 7 \text{ kg/cm}^2$$

保持ボルト部：

$$\tau_{pa3} = 11 \text{ kg/cm}^2$$

h) 許容縁応力度

製作時 引張側： $\sigma_{fa} = 10 \text{ kg/cm}^2$

圧縮側： $\sigma_{ca} = 100 \text{ kg/cm}^2$

(2) 鉄 筋

SD 35 を使用し、ひびわれ幅の制御から、 $\sigma_{sa} = 1000 \text{ kg/cm}^2$

(3) P C 鋼 棒

B種を使用している。

a) 引張強度： 110 kg/mm^2

b) 降伏点応力度： 95 kg/mm^2

c) 許容引張応力度

緊張作業時： 86 kg/mm^2

導入直後： 77 kg/mm^2

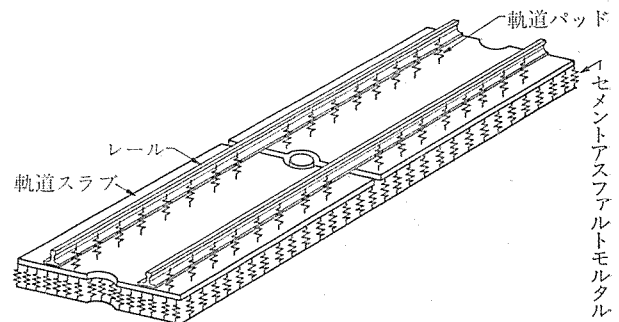
設計荷重作用時： 66 kg/mm^2

d) レラクセーション：3%

3.3 スラブの構造解析

スラブの構造解析は、図一2 のようなモデルを想定している。すなわち、レールは細長い部材であるからこれを梁と考え、スラブ上で 625 mm 間隔でレールを支えている軌道パット等の締結装置は、各々 1 個の線形のバネと考えている。次に、スラブは平板としてそのままモデル化し、スラブと高架橋の間のセメントアスファルトモルタルは全面支承の線形バネとして考えている。

スラブの応力解析は、有限要素法 (Finite Element Method) を用いており、三角形要素に分解して計算し



図一2 スラブ軌道の応力解析のためのモデル

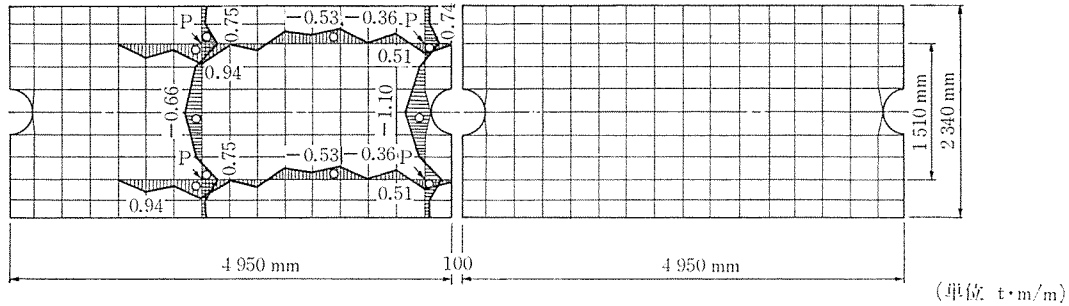


図-3 東北新幹線用軌道スラブの曲げモーメントの計算例

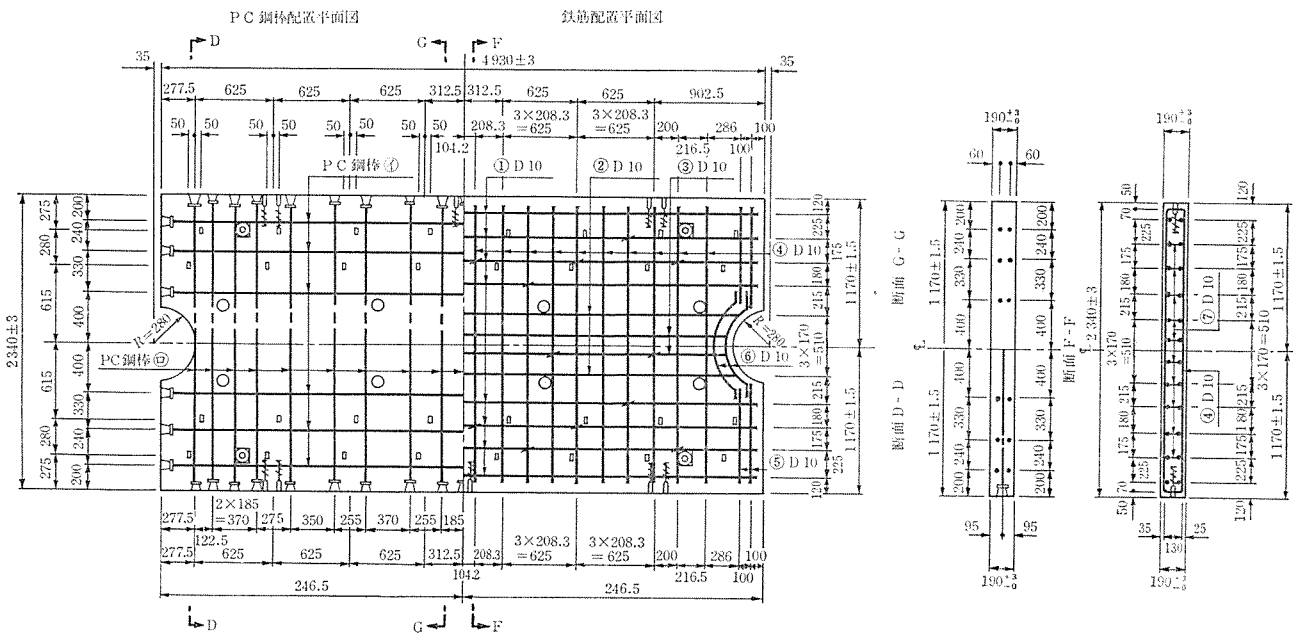


図-4 東北新幹線用軌道スラブの設計例

ている。曲げモーメントの計算例を図-3に示す。列車の走行を考慮して、輪重の載荷点を移動させて計算したが、図-3の位置で載荷した時が最も大きい。

3.4 設計の考え方

前述のように、寒冷地用のスラブでは、ひびわれを防ぐためにプレストレスを導入することにした。鉄道橋等ではフルプレストレスでしか設計されていないが、断面が小さく、荷重の大きいスラブでフルプレストレスで設計すると、PC鋼棒端部の定着部にひびわれが発生しやすい。そこで、パーシャルプレストレスで設計することにし、ひびわれ幅を制限しようと、限界状態設計法を一部とり入れることにした。

- 1) 疲労検討輪重 (12.4t) が作用した状態で、コンクリートの引張応力が出ないという条件を満足するのに必要なプレストレス力、すなわち PC 鋼棒必要断面積を求める。
- 2) 設計輪重 (25.5t) が作用した状態で発生するひびわれ幅が 0.1 mm (寒冷地用) 以下となるように

表-4 東北新幹線用軌道スラブの応力度等一覧表

寒冷地用 防振 300t/cm PRC 構造 A-55 CN
 コンクリート ($\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$) 2.15 m³
 鉄筋量 (SD 35) 140 kg

PC 鋼棒本数 (B種)	主鉄筋本数	設計輪重作用時		疲労検討時		PC 鋼棒有効引張応力 (kg/mm ²)	有効プレストレス力 (kg/cm ²)
		コンクリート $\sigma_c \leq 130$	鉄筋 $\sigma_s \leq 1000$	コンクリート $\sigma_{ct} \leq 130$	コンクリート緑応力 $\sigma_{ct} \geq 0$		
レ方 12	D10 24	62 (80.2)	80 (329)	35.6	4.2	61.5	19.9
横方 19	D10 44	51.8 (76.0)	138 (472)	32.4	0.2	64.9	16.3

鉄筋の許容応力度 $\sigma_{sa}=1000 \text{ kg/cm}^2$ として、前記のプレストレス力の作用下における鉄筋の所要断面積を求める。

以上の考え方に基づいて設計している。有効プレストレス量はスラブの種類により異なるが、約 $10 \text{ kg/cm}^2 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ であり、PC 鋼棒は、中央または対称位置に配置して薄いスラブ版にそりが出ないように注意している。また、鋼筋はせん断力に対する補強筋であり、支圧

に対する配力筋，乾燥収縮ひびわれに対する用心鉄筋の役目もするため，間隔が 20 cm 程度になるように配筋した。

スラブの設計例を図-4 に示し，主要鉄筋および鋼棒本数，応力度を表-4 に示した。

4. 材料および製作方法

紙面の制約もあり，製作の詳細は省略するが主要な点は以下のとおりである。

表-5 コンクリートの標準配合

設計基準強度 (kg/cm ²)	脱型時強度 (kg/cm ²)	セメントの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	最大水セメント比 (%)	空気量の範囲 (%)	単位セメント量 (kg/m ³)
400	300	早強ポルトランドセメント	25	6±1.5	45	3±1 (4±1)	400

(注) () 内数値は寒冷地用

- 1) コンクリートの標準配合は，表-5 のとおりであり，PRC スラブは寒冷地用のため，空気量は 4±1% で凍結融解による破壊を防止している。
- 2) 工場製作の経済性を考慮して，1日1サイクルの常圧蒸気促進養生を採用している。その際，温度の上昇および下降速度，最高温度およびその持続時間等を厳しく制限して，ひびわれ防止をはかっている。

- 3) プレストレッシングは，ポストテンション方式，アンボンド工法を採用している。
- 4) その他，軌道スラブは高精度が要求されるため，製品および型枠の管理，検査方法について厳しく定めているほか，AE 剤および減水剤等の使用，海砂使用の原則的禁止を含む骨材の使用，鉄筋・鋼棒の加工および組立て，プレストレッシングの詳細，スラブの移動，貯積，運搬等について詳細に規定している。

5. おわりに

スラブ軌道は，その主要目的である保守の省力化については，いかにその効果を発揮してきたが，一方，バラスト軌道に比べて，騒音，振動の点で，劣っている点は否定できない。この点を改良するために，スラブの下に軟らかいマットを敷くなど，いろいろな工夫をこらしており，東北，上越新幹線でもすでに実施されている。

防音，防振化については，現在も研究を続行中であり，より良いスラブ軌道を目ざして，今後も努力していく所存である。

当小文をまとめるにあたり，資料提供を頂いた関係諸兄に深く感謝いたします。

PC橋の仮設工事

監修 齊藤武幸

A 5 判・上製・190頁 定価2,300円

<主要目次>

PC橋仮設工事の概要／プレキャストげた橋／現場打カンチレバー橋／プレキャストブロック工法／移動式支保工／押し出し工法

* 最近 PC 橋の施工法は非常に多様化してきましたが，PC 橋の計画，設計，施工に当って各種施工法の特徴，とりわけ仮設備について熟知していることが要求されます。本書は PC 橋の実施に当って計画者，設計者，施工者それぞれに必要な事項を掲載いたしました。

東京都千代田区富士見 1-8-19

理 工 図 書

株式会社

☎ 03(230)0221(代)
振替 東京 8-36087