

内在塩分を有する軌道スラブの劣化状態調査結果について

○ [土] 山根 寛史 [土] 森山 陽介 (西日本旅客鉄道株式会社)

[土] 金岡 裕之 今城 正嗣 (西日本旅客鉄道株式会社)

Results of the survey a degraded state of the track slab with an internal salt

○ Hiroshi Yamane, Yousuke Moriyama, (West Japan Railway Company)

Hiroyuki Kanaoka, Syouji Imajou, (West Japan Railway Company)

The Sanyo Shinkansen line was constructed before the regulation of total amount of chloride in concrete. We are concerned about complex deterioration of track slab by carbonation and internal chloride. In order to maintain track slab over a long period, we should understand the effect of the complex deterioration to life cycle of track slab. Therefore, estimation of corrosion rate of reinforcing bar is required to survey about current carbonation and amount of internal chloride at track slab of the Sanyo Shinkansen. We have a result of survey that the corrosion rate of track slab is smaller than general civil structure.

キーワード：軌道スラブ，内的塩害，中性化，コンクリート中の鉄筋の腐食速度

Key Words：slab track, internal salt, carbonation, corrosion of reinforcing bar in concrete

1. はじめに

スラブ軌道は，山陽新幹線 岡山～博多駅間の建設で初めて大量に敷設されて以来，現在でも我が国における標準的な省力化軌道として新幹線の新設線軌道を中心に適用されている。スラブ軌道は，レールを直接締結し支持する長さ5m×幅2.5m（標準寸法）の軌道スラブとこれを弾性的に支保するてん充層で構成される軌道構造である。図1にスラブ軌道の概要を示す。

スラブ軌道の主要な部材である軌道スラブは，1体あたりの寸法形状が大きく，PCまくらぎなどとは異なり，変状が発生したとしても容易に交換することはできない。このため，スラブ軌道の長期的な維持管理においては，軌道スラブが経年劣化により一時に限界状態を迎えるか否かを見極めることが重要となる。特に，山陽新幹線に敷設された

軌道スラブは，1986年の塩化物総量規制以前に製作されており，内部塩害による鉄筋腐食が懸念される。

そこで，JR西日本では山陽新幹線全線を対象にサンプリング調査により，現時点での塩分含有量および中性化深さの実態調査を実施してきた。

本稿では，上述の調査結果に基づき，中性化と塩害の複合劣化による鉄筋の腐食速度を推定し，内在塩分の影響を評価した結果について報告する。

2. 山陽新幹線における軌道スラブの概況

2.1 軌道構造の概況

図2に山陽新幹線の軌道構造の概況を示す。山陽新幹線のスラブ軌道は，1975年の博多開業区間（岡山～博多駅間）

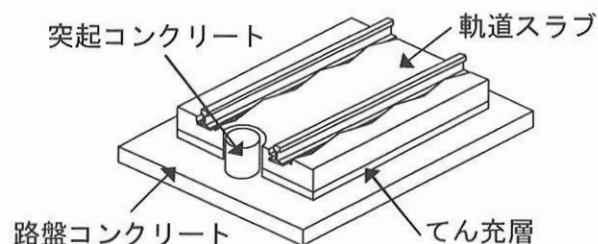


図1 スラブ軌道の概要

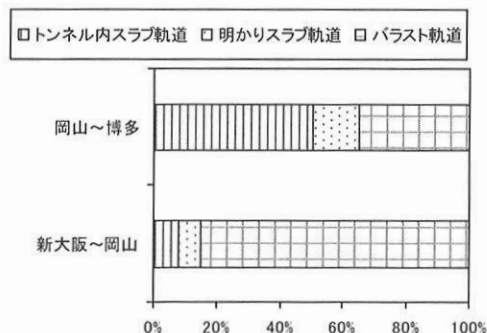


図2 山陽新幹線の軌道構造の概況

にその多くが敷設されている。新関門トンネル海底部などの一部区間では軌道スラブ交換を実施している¹⁾が、ほとんどの軌道スラブは開業時に敷設されたものである。

2. 2 山陽新幹線の軌道スラブ

図 3 に、山陽新幹線に敷設されている軌道スラブの形式と敷設割合を示す。図 3 では、分類を容易にするため長さ 4m 未満のものをすべて「端尺」と分類し、水抜き穴の有無以外に構造上の差異が無い A-53 形は「A-51 形」として分類している。なお、寒冷地を含まない山陽新幹線では、明かり区間とトンネル区間の別にかかわらず、すべて厚さ 160mm の RC 構造の軌道スラブが敷設されている。

2. 3 建設時の軌道スラブ製作²⁾³⁾⁴⁾

山陽新幹線建設時の軌道スラブ製作は、全線を複数のブロックに分割し、ブロックごとに製作工場を設けて行われている。既設工場が活用できる箇所以外の製作工場は、仮設工場を設けて製作が行われた。表 1 に、山陽新幹線建設時の製作工場の概要を示す。

文献 2)～4)によると、山陽新幹線建設時に軌道スラブの敷設は 1970 年 8 月から 1974 年 2 月にかけて施工されている。本稿では、博多開業区間で軌道スラブの敷設を開始した 1973 年 7 月を供用開始時期として考える。

3. コアサンプリングによる調査

3. 1 調査概要

(1) 調査範囲

表 2 にサンプリング調査を実施した範囲を示す。調査は、

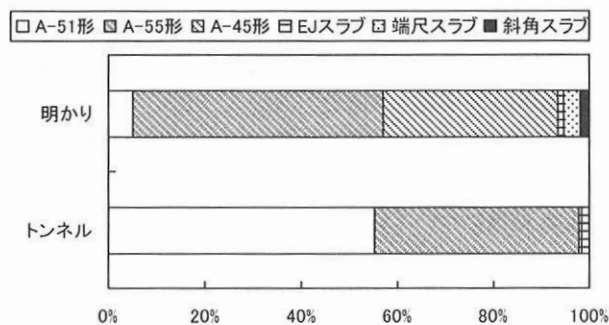


図 3 山陽新幹線に敷設される軌道スラブ形式

表 1 軌道スラブ製作工場の概要

工場記号	製作枚数 (枚)	常設/仮設
A	14,916	常 設
B	14,392	仮 設
C	12,000	仮 設
D	11,090	仮 設
E	9,934	仮 設
F	9,652	常 設
G	8,938	仮 設
H	8,530	常 設
I	7,760	仮 設
J	7,532	常 設
K	5,532	常 設
L	3,334	仮 設
M	2,664	常 設

製作工場ごとに明かり区間とトンネル区間の 2 ロットを設定し、博多開業区間を対象として、17 ロットでサンプリングを実施した。

(2) かぶり測定

中性化深さ測定および塩化物イオン濃度測定を行うためのコアを採取するにあたり、採取位置周辺のかぶりを測定した。電磁誘導法による非破壊検査装置（プロフォメータ 5）を使用し、コア採取位置に隣接する上側鉄筋のかぶりを測定した。

(3) 表面含水率測定

調査を行った軌道スラブのうち、トンネル区間 9 枚、明かり区間 54 枚について表面含水率の測定を行った。測定は、コンクリート・モルタル水分計を用いて、各軌道スラブの中央部で実施した。

(4) 中性化深さ測定

中性化深さの測定は、調査対象の軌道スラブ 1 体につき直径 25mm、長さ 100mm のコアを 1～3 体ずつ採取して実施した。採取した直後のコア側面に 1% フェノールフタレイン溶液を散布し、任意に選択した 5 か所で中性化深さを測定し、その平均値を測定値とした。

(5) 塩化物イオン濃度測定

塩化物イオン濃度の測定は、中性化深さ測定に用いたコアを用いて行った。中性化による塩分濃縮の可能性がある箇所を避け、軌道スラブ上面から深さ 40mm～60mm の位置をスライスして全塩分量を測定した（図 4）。測定方法は、JCI-SC5「硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析法」に準拠した。

表 2 サンプリング調査の範囲とコア採取数

工場記号	明かり	トンネル	合計
A	—	18	18
B	16	12	28
C	—	24	24
D	18	9	27
E	—	16	16
F	63	12	75
G	16	20	36
H	18	21	39
I	18	38	56
J	18	16	34
合計	167	186	353

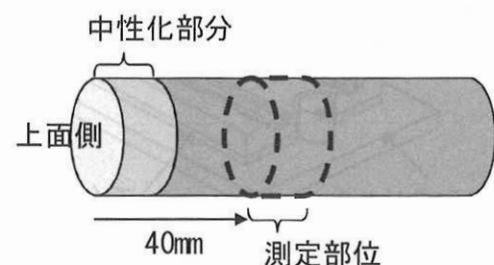


図 4 塩化物イオン濃度の測定位置

3. 2 調査結果

(1) かぶり

表3にかぶりの測定結果を示す。A-55 形と A-51 形では軌道スラブ上面の設計かぶりが異なるため、ロットごとではなく、軌道スラブ形式で分けて示す。表3より、いずれの形式でも設計値に対するばらつきが大きいことが分かる。また、A-51 形は平均値が設計値を下回っていたのに対して、A-55 形はほぼ設計値と同等であった。

(2) 表面含水率

表4に表面含水率の測定結果を示す。表4より、明かり区間よりもトンネル区間の方が1%程度高い結果となったが、明かり区間については晴天時に測定しているため、降雨によるばらつきが生じるものと考えられる。また、トンネル区間については、トンネル覆工からの漏水によるばらつきが考えられるものの、測定対象箇所は漏水による影響が無い箇所である。

(3) 中性化深さ

中性化深さの測定結果として、図5に各ロットの測定最

表3 かぶり測定結果

形式	測定数 (箇所)	設計値 (mm)	測定値 (mm)	
			平均値	標準偏差
A-51 形	53	60	52.0	11.7
A-55 形	300	20	19.2	7.9

表4 表面含水率測定結果

敷設環境	表面含水率	
	測定枚数	測定平均値
明かり区間	54 枚	3.6 %
トンネル区間	9 枚	4.9 %

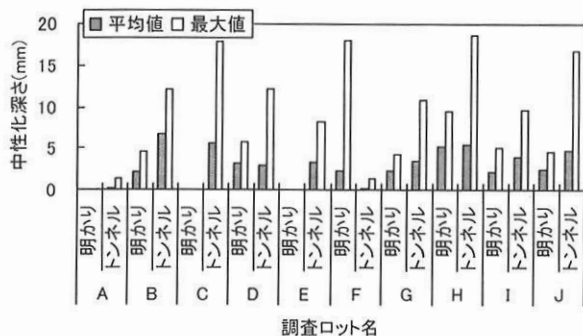


図5 中性化深さの測定結果

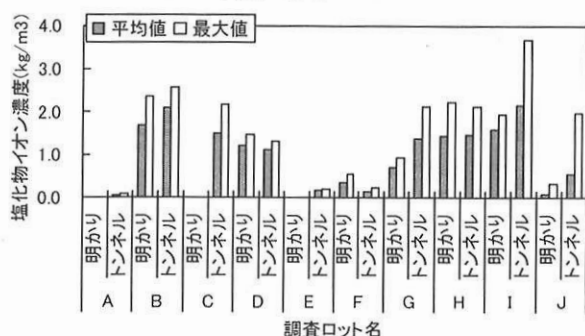


図6 塩化物イオン濃度の測定結果

大値および平均値を示す。全調査ロットにおける最大値はH (トンネル) の18.6mmであり、平均値は3.3mmであった。

図5および表3のA-55 形軌道スラブのかぶり測定結果より、いずれのロットにおいても、平均値に基づく中性化残りは10mm以上ある。しかしながら、一部の軌道スラブでは中性化の進行により、中性化残りが10mmを下回っているものも存在している。

(4) 塩化物イオン濃度

塩化物イオン濃度の測定結果として、図6に各ロットの測定最大値および平均値を示す。全調査ロットにおける最大値はI (トンネル) の3.7kg/m³であり、平均値は1.0kg/m³であった。図6より、半数以上のロットで鉄筋の腐食開始の限界塩化物イオン濃度である1.2kg/m³⁵⁾を測定平均値が上回ることが確認された。また、同じ工場の明かり区間とトンネル区間の各ロットで、平均値に大きな差異は見られなかった。

4. 鉄筋腐食速度の推定による劣化予測

飯島らは気温・表面含水率・コンクリート中の塩化物イオン量・中性化残りをパラメータとして、鉄筋腐食によるひび割れや浮きが発生する前の段階における鉄筋腐食推定法を提案している⁶⁾。

本稿では、第3章で実施した調査結果に基づき、上記推定法により調査ロットごとの鉄筋の質量減少率の推移予測を行った。表5に、算出に用いた条件を示す。なお、推移予測はかぶりの設計値が小さいA-55 形を対象とし、表3の測定平均値をかぶりの条件として採用した。

推移予測の結果として、表6に現在(2011年7月現在)：

表5 鉄筋の質量減少率の算出条件

環境条件	明かり	トンネル
かぶり	19.2mm	
中性化速度係数	図4の平均値から算定	
塩化物イオン濃度	図5の平均値を採用	
表面含水率	表4による	
気温	製作工場付近の 2010年の年間平均 気温を採用 ⁷⁾	20℃

表6 鉄筋の質量減少率の推定結果

工場 記号	明かり区間		トンネル区間	
	現在	1%到達期間	現在	1%到達期間
A			0.00%	250 年以上
B	0.02%	250 年以上	0.05%	160 年
C			0.02%	220 年
D	0.00%	250 年以上	0.00%	250 年以上
E			0.00%	250 年以上
F	0.00%	250 年以上	0.00%	250 年以上
G	0.00%	250 年以上	0.01%	250 年以上
H	0.01%	250 年以上	0.02%	228 年
I	0.02%	250 年以上	0.05%	250 年以上
J	0.00%	250 年以上	0.00%	250 年以上

注) 現在とは、2011年7月時点(供用38年)を示す。

供用 38 年)の鉄筋の平均質量減少率の推定値と平均質量減少率 1% (鉄筋の表面の大部分に腐食が認められる状態⁸⁾)となるまでの期間 (以下、本稿では「1%到達期間」という。)を示す。なお、1%到達期間が 250 年以上と算定されるロットについては「250 年以上」と表記した。

表 6 より、現在の鉄筋の平均質量減少率は最大でも 0.05% (ロット B・I のトンネル区間) と推定された。また、ほとんどのロットで 1%到達期間が 250 年以上と算定された。

図 7 に 1%到達期間が 250 年未満のロットの平均質量減少率の推移予測を示す。

図 7 より、1%到達期間が 160 年と最も短く算定されたロット B のトンネル区間でも、中性化残りが 10mm を下回り、加速期に移るまで 72 年を要すると推定される。

5. 考 察

山陽新幹線における軌道スラブのサンプリング調査結果およびその結果に基づく鉄筋腐食速度の推定による劣化予測結果をまとめると、以下のとおりとなる。

- ・ 軌道スラブの中性化深さは、全ロットの平均値は 3.3mm であり全体として進展は少ない
 - ・ しかしながら、製造工場および敷設環境によるばらつきが大きく、中性化残りが 10mm を下回る軌道スラブも存在する
 - ・ 軌道スラブに内在する塩化物イオン量は、全ロットの平均値は 1.0kg/m^3 であったが、半数以上のロットで発錆限界である 1.2kg/m^3 を上回ることが確認された
 - ・ また、塩化物イオン量の分布は、敷設環境よりも製造工場によるばらつきが大きい傾向にある
 - ・ サンプリング結果に基づく鉄筋腐食速度の推定結果より、ひび割れが存在しない場合、最も短いロットでも平均質量減少率が 1% に到達するまで 160 年を要する
- 以上より、山陽新幹線に敷設された軌道スラブの鉄筋腐食速度は、文献 8) に示される一般の土木構造物の鉄筋腐食速度と比較して十分に小さいことが推定される。

したがって、軌道スラブにひび割れを生じさせない限りにおいては、複合劣化が軌道スラブの長期健全性に与える影響は小さいと考えられる。

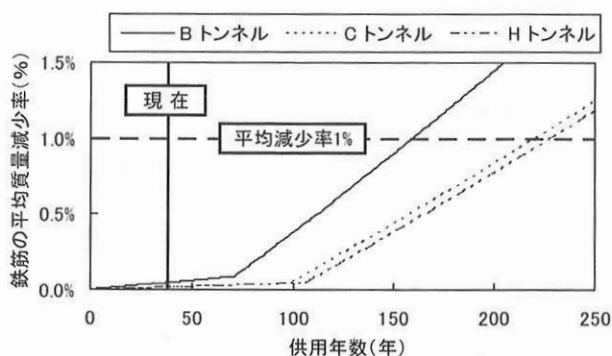


図 7 鉄筋の質量減少率の推移予測

6. おわりに

山陽新幹線のスラブ軌道の長期的な維持管理の観点から、軌道スラブの複合劣化の影響について調査および劣化予測を行った。

その結果、軌道スラブにひび割れを生じさせない前提においては、鉄筋の腐食速度は小さく、短期間で軌道スラブが一時に限界状態を迎えることは考えにくい。

別途実施した軌道スラブの変状調査結果では、山陽新幹線の軌道スラブでは約 1 割の軌道スラブに何らかの変状が顕在化していることを筆者らは報告している⁹⁾。なお、調査結果から、顕在化している変状のほとんどは、製作上の問題または使用環境上の問題に起因するものと推定される。

これら顕在化した変状を適切に補修し、鉄筋の腐食進展を防ぐことが、今後、軌道スラブを長期的に維持管理していくうえで重要になると考えられる。

7. 謝 辞

本研究では、公益財団法人 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部および材料技術研究部から多大なるご支援・ご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 柳谷勝, 田淵剛, 金岡裕之: 海底トンネルにおける本格的なスラブ交換に向けた検討, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 43, No. 1, pp. 20-22, 2005.
- 2) 日本国有鉄道 大阪新幹線工事局編: 山陽新幹線新大阪・岡山間建設工事誌, pp. 1301-1318, 1972.
- 3) 日本国有鉄道 広島新幹線工事局編: 山陽新幹線 (大門・小瀬川間) 工事誌, pp. 1076-1097, 1975.
- 4) 日本国有鉄道 下関工事局編: 山陽新幹線小瀬川・博多間工事誌, pp. 1019-1021, 1976.
- 5) 土木学会: コンクリート標準示方書 (維持管理編), pp. 114-115, 2007.
- 6) 飯島亨, 工藤輝大, 玉井譲: コンクリート中の鉄筋の腐食速度に及ぼす気温の影響, 鉄道総研報告, Vol. 23, No. 6, pp. 11-16, 2009.
- 7) 気象庁気象統計情報: 気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>), 2011 年 10 月検索
- 8) 公益財団法人 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編 コンクリート構造物), pp. 249-250, 2007.
- 9) 山根寛史, 武山和生, 松本亮介: 経年軌道スラブの健全性に関する調査報告, 第 67 回土木学会年次学術講演会, IV-080, pp. 1-2, 2011.