スラブ軌道における突起の変状予測について

西日本旅客鉄道株式会社　　正会員　○山根　寛史

1. はじめに

JR 西日本では，山陽新幹線のスラブ軌道を今後も長期間にわたって健全に維持・管理していくことを目的として，スラブ軌道の各種構成部材の状態調査と維持管理方策の検討を行っている．

本稿では，上述のうち突起の変状に関する調査と調査結果に基づく変状予測について報告するものである．

2. 山陽新幹線に敷設されている突起の現状

突起は，レールの温度伸縮等で生じる軌道縦荷重と横荷重を基礎に伝達し，軌道スラブの水平方向の移動を拘束する機能を持つ鉄筋コンクリート製の軌道部材である．山陽新幹線建設時に下部構造物と一体的に敷設されており，一部は経年約 40 年に達するものもある．

図 1 に敷設環境別で取りまとめた突起の変状発生状況を，図 2 に突起の変状事例を示す．

図 1 から，明かり区間に比べてトンネル区間では，突起の変状が多く確認されている．突起の変状は，図 2 に示すような形態のひび割れがほとんどであり，突起に作用する外力の作用方向や位置を考慮すると，外力によるひび割れ先行型ではなく，鉄筋腐食先行型のひび割れであることが推測される．

3. コアサンプリングによる調査

(1) 調査目的と方法

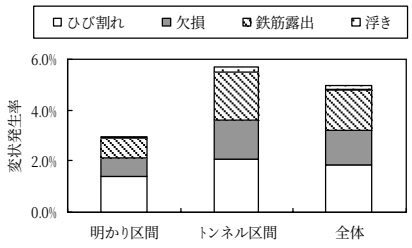

図 1 突起の変状発生状況

図 2 突起の変状事例（ひび割れ）

文献 1）にて報告した軌道スラブ同様，突起も塩化物総量規制以前に敷設されており，内的塩害と中性化による複合劣化が懸念される．そこで，突起の現状を調査し複合劣化の影響による変状予測を行うために，コアサンプリングによる調査を行った．

調査は，φ25㎜，L=100㎜ 以上のコアを突起 1 体あたり 1 本ずつ採取して行った．中性化深さはフェノールフタレイン法に，塩化物イオン濃度測定は JCI-SC5 に準拠した．併せてコア採取箇所のかぶり深さについても，電磁誘導法による非破壊検査装置（プロフォメーター5）により行った．

(2) 調査結果

図 3～5 に中性化深さ，塩化物イオン濃度およびかぶり深さの測定結果として，各測定値を確率変数 X とした確率密度関数 $f_X(x)$ と標本分布を示す．

図 3 から，トンネル区間の方が中性化にばらつきが大きく，中性化が進展していることが確認できる．

図 4 から，中性化深さと同様にトンネル区間でばらつきが大きく，内在する塩化物イオンが多いことが確認できる．また，80%以上のサンプルで腐食発生限界塩化物イオン濃度 1.2kg/m³ を上回っていることが確認された．これらの結果は，トンネルで損傷が多く発生しているという図 1 の変状発生状況と傾向が合致する．

また，図 3，4 は，いずれも対数正規分布が標本分布と適合が良いように考えられる．

図 5 から，突起の設計かぶり深さである 50 ㎜を中心に大きくばらついていることが確認できる．また，敷設環境による分布の差異は少ない．

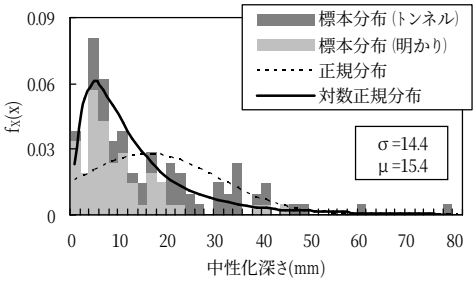

図 3 中性化深さの測定結果

キーワード　スラブ軌道，突起，中性化，内的塩害，複合劣化，鉄筋腐食
連絡先 〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田 2-4-24　西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部　TEL 06-6375-2296

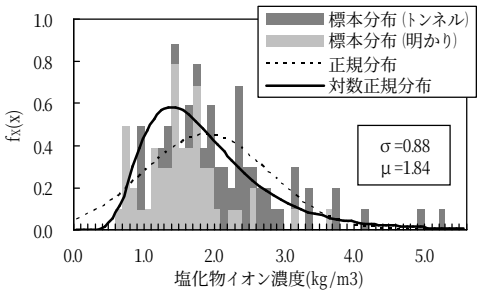

図 4 塩化物イオン濃度の測定結果

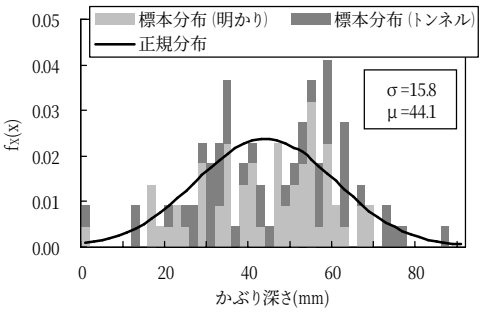

図 5 かぶりの測定結果

4. ひび割れが発生する鉄筋の腐食減量

荒木らは，鉄筋の腐食膨張による剥離ひび割れ発生時の鉄筋半径減少量について検討を行っており [2]，JR 西日本ではこの結果からかぶりと鉄筋径をパラメータとした下式を算定し，構造物の変状予測に用いている．

$$\Delta r_{sp2} = 131 \times c/\phi \times 10^{-3}$$

ここで，Δr_{sp2}:剥離ひび割れ発生時の鉄筋半径の減少量(mm)，c:かぶり(mm)，φ:鉄筋径(mm)を示す．

本稿では，鉄筋の腐食膨張によって突起上面に剥離ひび割れが発生する際の腐食減量について，上式から突起の設計かぶり c=50mm および鉄筋径 D10（公称径 9.35mm）を適用して，鉄筋の平均質量減少率 0.20%と算定した．

5. 突起の変状推定

第 3 章の調査結果に基づき，経年による突起の変状発生確率を推定した．推定は，経年による鉄筋の平均質量減少率を飯島らが提案するひび割れ発生前の鉄筋腐食推定法 [3]を用いて算出し，前章で求めた鉄筋の平均質量減少率 0.20%を超過する確率をひび割れ発生確率として算定した．

また，調査で得た標本分布の影響を加味するため，モンテカルロ法シミュレーションにより算定を行った．表 1 に算定の条件を，図 6 および表 2 に調査時点（経年 38 年）および経年 100 年時点の推定結果を示す．

図 6 および表 2 より，ひび割れ発生確率は調査時点で 7.0%と推定された．図 1 で示した突起の変状発生割合は全体で 5.0%であり，推定結果と変状実態は概ね一致する傾向にあると考えられる．

表 1 算定の条件

繰返し回数		100 万回
乱数生成アルゴリズム		XorShift
正規乱数発生法		Box-Muller 法
分布確率	中性化深さ	対数正規分布（図 3）
	塩化物イオン濃度	対数正規分布（図 4）
	かぶり	正規分布（図 5）
表面含水率 [1]		5%

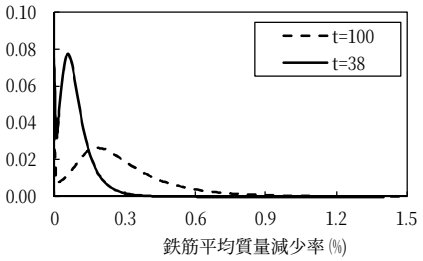

図 6 鉄筋腐食減量の推定結果

表 2 鉄筋腐食減量の推定結果とひび割れ発生確率

経年（年）	平均値 (%)	標準偏差 (%)	ひび割れ発生確率
38	0.09	0.07	7.0%
100	0.30	0.23	62.7%

6. 考　察

突起の変状に関する調査と調査結果に基づく変状予測を行った結果，以下のことが考えられる．

顕在化している突起の変状は，明かりに比べてトンネルで鉄筋の腐食に伴うひび割れや損傷が多い．これは，コアサンプリング調査結果の傾向と合致している．

調査結果に基づき，鉄筋腐食減量の推定による変状予測を行った結果によると，今後 60 年間で約 55%の突起にひび割れが発生する可能性があり，1%/年程度の割合で変状に対する補修が必要となることが予測される．

7. おわりに

突起の変状調査と今後の変状予測を行った．変状の発生状況を引き続き追跡し，現場において適切な補修が行われるよう，維持管理方策を検討していく．

参考文献

1) 山根ほか：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，第 18 回鉄道技術・政策連合シンポジウム（J-Rail2011），2011.
2) 荒木：かぶりコンクリート剥落による第三者損傷防止を目的とした維持管理対策に関する研究，京都大学大学院博士論文，2006.
3) 飯島ほか：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.6，2009.