

経年軌道スラブの曲げ耐力の検討

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○高橋貴蔵 淵上翔太 関根悦夫

1. はじめに

鉄道の軌道には、軌道スラブと呼ばれるコンクリート版でレールを支持するスラブ軌道（図1参照）がある。スラブ軌道は線路保守の省力化を目的に開発され、山陽新幹線の岡山-博多間以降において新幹線の主要な軌道として本格的に採用された。山陽新幹線に敷設されている軌道スラブは、耐用年数を50年として設計され、敷設されてから約35年が経過している。このようなスラブ軌道の多くは、省力化としての機能を満足しているものの、環境条件が悪い場所では、鉄筋腐食などの劣化が確認されているものもある。そこで、敷設されてから約35年が経過し、ひび割れ状態が異なる軌道スラブに対して、耐力の検討を曲げ試験により行った。

2. 経年軌道スラブの概要

新幹線トンネル区間のスラブ軌道から試験用に搬出した2枚の軌道スラブのひび割れ状況を図2に示す。なお、ひび割れ本数が多い方をS-1、少ない方をS-2とする。S-1とS-2は軌道スラブ2枚を挟んで隣り合っており、S-1の脇では漏水が確認された。

軌道スラブを調査した結果、両軌道スラブには鉄筋の腐食発生限界量である $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ と同程度の塩化物イオンが内在し、中性化深さの平均値はS-1で7.3mm、S-2で2.2mmであり、上側鉄筋のかぶり深さの平均値はS-1およびS-2とも17mmであった。塩分を含む場合の腐食発生限界中性化残りは約20mmとされていることから¹⁾、両軌道スラブは腐食しやすい状態にあったものと考えられ、さらに漏水による水の供給が多いS-1で上側鉄筋の腐食が進行し、ひび割れが多くなったものと考えられる。なお、ひび割れの発生状態を確認したところ、コンクリートの収縮によるひび割れが先行して生じていたものと考えられる。

3. 耐力確認試験

3. 1 試験概要

軌道スラブの両側面から900mmの位置でレール長手方向に切断して、1枚の軌道スラブから2体の梁供試体を作成し、曲げ試験および曲げ疲労試験を実施した。梁供試体中央部の断面を図3に示す。曲げ試験および曲げ疲労試験は、図4に示すように支点間距離を3000mmとする3等分点荷重とした。曲げ試験は任意の荷重まで荷重した後に除荷し、再荷重する繰返し静的荷重とし、曲げ疲労試験は最小荷重を10kNで一定とし、繰返し回数70万回までの最大荷重を55kN、95万回までを66kN、95万回以降を73kNとした周波数1.7Hzのsin波で荷重した。曲げ試験終了後の梁供試体からコンクリートコアと下側鉄筋を取り出して強度試験を行った結果を表1に示す。

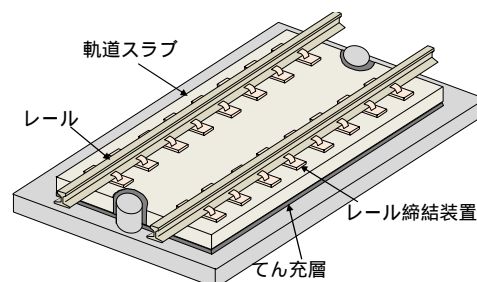
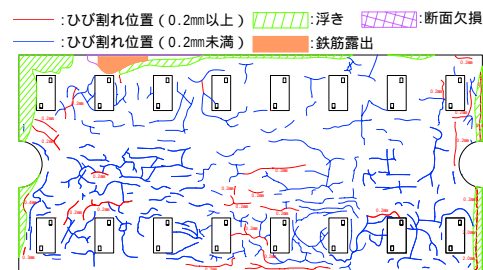
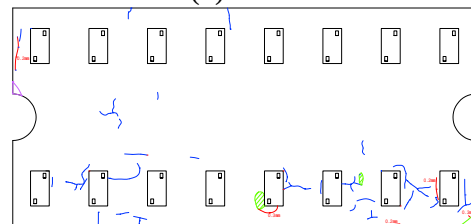


図1 スラブ軌道の概要図



(a) S-1



(b) S-2

図2 軌道スラブのひび割れ状況

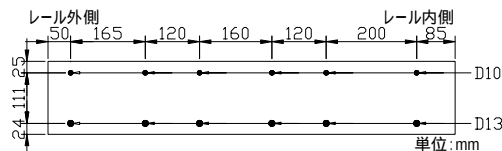


図3 梁供試体断面

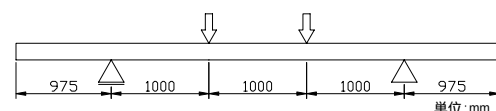


図4 荷重点および支持点

表1 コンクリートと鉄筋の材料特性

	コンクリート		鉄筋 (D13)	
	圧縮強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)
S-1	42.6	23.8	366	542.9
S-2	51.7	28.2	380.8	567.3

キーワード 軌道スラブ、曲げ耐力、疲労

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 TEL 042-573-7276

3.2 曲げ試験結果および考察

曲げ試験による荷重と中央変位の関係を図5に示す。図5には、曲げ載荷による性状把握のためファイバーモデルを用いて算出した曲げひび割れ、曲げ降伏および曲げ破壊荷重もあわせて示してある。曲げ荷重を求めるための断面力を算定するにあたり、物性値には表1に示す実験値を用いた。また、コンクリートの応力-ひずみ関係には2次曲線タイプ、引張側については引張強度まで考慮し、鉄筋はバイ-リニア型の材料特性を仮定し、鉄筋降伏までの弾性係数を 200kN/mm^2 とし、降伏後は弾性係数の $1/100$ とした。

図5より、荷重-中央変位関係を比較すると、S-2の方が曲げひび割れおよび曲げ降伏が明確なことがわかった。また、載荷初期の荷重と変位の傾きから曲げ剛性を比較すると、S-2の方が大きいことがわかった。これらは、S-1に比べてS-2の上縁側のコンクリートのひび割れが少ないことが影響していると考えられる。曲げ降伏荷重や最大荷重については、両軌道スラブで大きな差は無いものの、S-2と比べてS-1の方がやや低い値となり、計算値でも同様な傾向になることがわかった。ただし、降伏および破壊に対する曲げ耐力の低下はわずかであり、設計上必要とされる耐力を有していることを確認した。

3.3 曲げ疲労試験結果および考察

曲げ疲労試験による繰返し回数と変位の関係を図6に示す。S-1は105万回で疲労破壊し、S-2は80万回で疲労破壊した。したがって、経年軌道スラブの表面のひび割れが少ないS-2よりもひび割れが多いS-1の疲労寿命の方が長い結果となった。そこで、試験終了後に疲労破断した鉄筋を確認したところ、図7に示すように、S-2については埋込カラー(軌道スラブに取り付けられているボルトを締結するための部材)の周辺部の鉄筋に腐食が生じており、このため疲労寿命がS-1よりも短くなったものと考えられる。これは、埋込カラーから止水油が漏れ出して、コンクリートに酸劣化が生じたことが原因と考えられる²⁾。なお、S-1の鉄筋破断位置では鉄筋の腐食は確認されなかった。

繰返し回数70万回までの鉄筋に発生する応力振幅は、ファイバーモデルを用いた計算によりS-1で 310.0N/mm^2 ($5.5 \sim 315.5\text{N/mm}^2$)、S-2で 308.1N/mm^2 ($4.7 \sim 312.8\text{N/mm}^2$)であると推定されるが、二羽らが示した引張疲労強度の算定式³⁾では、疲労寿命を70万回とした場合の引張疲労強度は 308.0N/mm^2 となる。したがって、下側の鉄筋は十分な疲労強度を有していることがわかった。

4. まとめ

新幹線に敷設されてから約35年が経過した軌道スラブのうち、ひび割れ状態が異なる2枚の軌道スラブの耐力の確認試験を行った結果、上面のひび割れが多い軌道スラブの方で曲げ剛性が低くなっているものの、曲げ降伏耐力、曲げ破壊耐力および鉄筋の引張疲労強度の低下はほとんど生じていないことがわかった。ただし、コンクリートの内在塩分量が多く、また止水油によるコンクリートの酸劣化が問題として残されており、これらによる鉄筋の腐食が懸念される。今後、鉄筋腐食が与える影響について検討を進めていく予定である。最後に、本試験の実施にあたり多大なるご協力を頂いた西日本旅客鉄道(株)の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献 1) 岸谷孝一他：塩化物を含むコンクリート中における鉄筋腐食と中性化の関係、コンクリート工学論文集, Vol.2, No.1, pp77-84, 1991

2) 山根寛史他：経年軌道スラブの埋込カラーの健全性評価について、土木学会第62回年次学術講演会, 2007.9

3) 二羽淳一郎他：異形鉄筋の疲労強度算定式、土木学会論文集, 354/V-2号, pp73-79, 1985.2

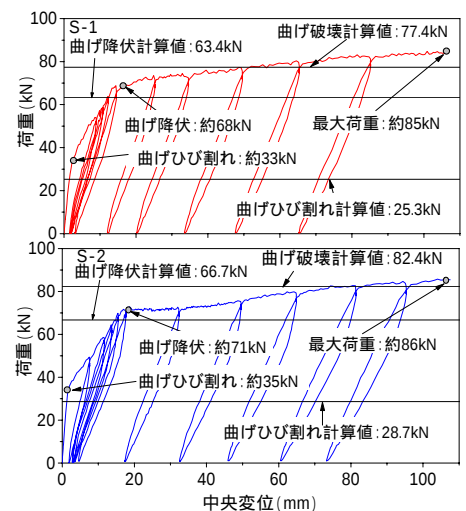


図5 荷重-中央変位

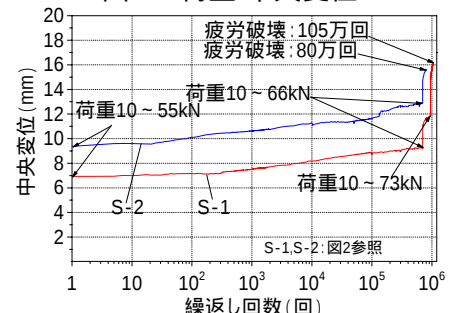


図6 中央変位-繰返し回数



図7 鉄筋の腐食状況 (S-2)