

経年軌道スラブの衝撃弾性波法による非破壊検査

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○ 瀧上 翔太 高橋 貴蔵 関根 悦夫

1. 目的

1975 年頃から省力化軌道として本格的に採用されたスラブ軌道の多くは、今後十数年ほどで設計耐用年数の 50 年を迎える。厳しい環境下においては、列車荷重やコンクリートの乾燥収縮および凍結融解作用などの複合要因により軌道スラブやてん充材が劣化し、早急に補修が必要とされる区間もある。一般的にスラブ軌道の維持管理は外観目視検査等により行われているが、目視検査は主観的な要素が大きく、検査員の知識や経験に依存するため、さらに定量的な健全度評価法が求められている。そこで本稿では、これまでに検討してきた衝撃弾性波法による軌道スラブの非破壊検査¹⁾について、現地より採取した経年軌道スラブに対する検討を行った。

2. 経年軌道スラブの選定

非破壊試験に用いる経年軌道スラブは、新幹線トンネル内に敷設された劣化状況の異なる 2 枚を選定した。図 1 に対象とした経年軌道スラブの寸法および外観図を示す。試験体 No.1 は、軌道スラブ表面に多数のひび割れが発生しており、一部に断面欠損や鉄筋露出箇所も見られた。一方、試験体 No.2 は試験体 No.1 と比較してひび割れ等が少なく、損傷の程度が小さいものを選定した。また、試験体 No.3 として、選定した経年軌道スラブと同じ形状寸法の新品の軌道スラブを作製した。

3. 衝撃弾性波法による非破壊試験

衝撃弾性波法による非破壊試験は、インパルスハンマーを用いてレール長手方向およびレール直角方向から軌道スラブの側面を打撃し、打撃面の反対側の側面に設置した加速度センサにより応答波形を受振する試験法である(図 2 参照)。本試験ではコンクリート中を伝播する弾性波を評価する指標として、受振した応答波の共振周波数に着目した。なお、共振周波数と弾性波速度の関係を次式に示す。

$$f = V/2L \tag{1}$$

f : 共振周波数 V : 弾性波速度 L : 部材長さ

非破壊試験により得られた各軌道スラブの共振周波数の平均値を表 1 に示す。同表より、ひび割れ等の損傷が顕著な軌道スラブほど、各方向の共振周波数は低い傾向を示すことが分かった。また、健全な試験体 No.3 の軌道スラブの共振周波数を初期共振周波数 f_0 とし、 f_0 に対する各共振周波数

キーワード 軌道スラブ, 衝撃弾性波法, 健全度評価

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 TEL 042-573-7276

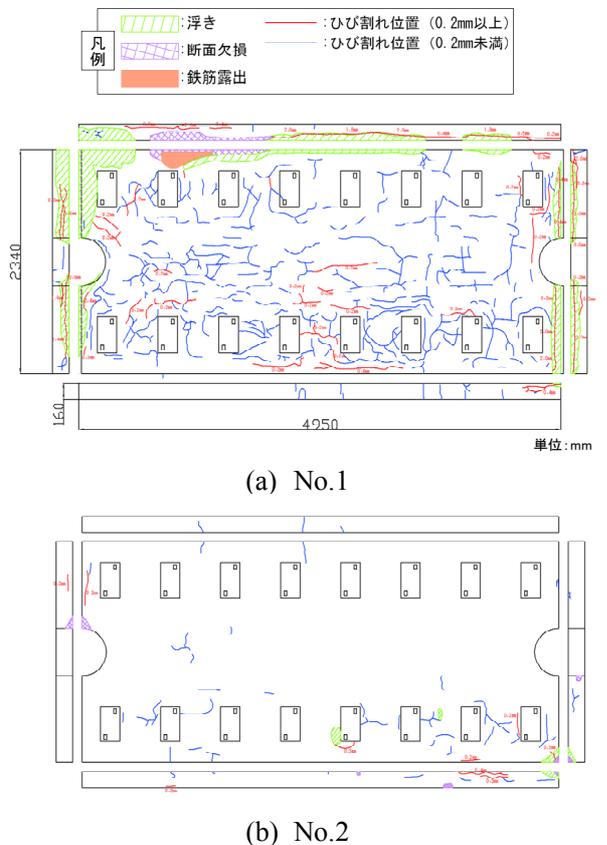


図 1 経年軌道スラブの寸法および外観図

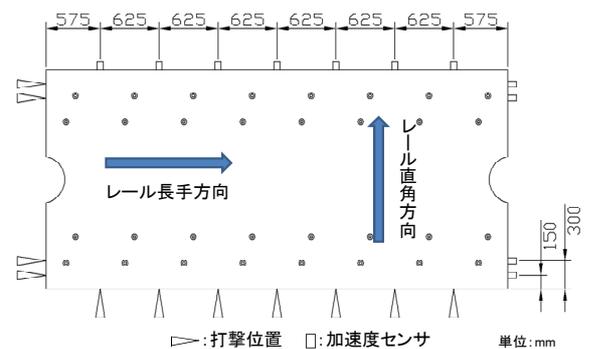


図 2 衝撃弾性波法による非破壊試験の概要

表 1 各軌道スラブの共振周波数

試験体 No.	共振周波数(Hz)		f_i/f_0	
	レール長手方向	レール直角方向	レール長手方向	レール直角方向
1(経年)	404	832	0.86	0.85
2(経年)	432	866	0.92	0.88
3(新品)	470	980	1.00	1.00

f_i の割合を f_i/f_0 と定義すると、その値は試験体 No.1 の場合におよそ 15%低下していることが確認された。

4. 曲げ強度試験による共振周波数の変化

図 3 に示すように、各経年軌道スラブを梁状(900×4950mm)に切断して曲げ強度試験を行い、供試体断面の破壊進展に伴う共振周波数の変化について検証した。曲げ強度試験の概要を図 4 に示す。試験はスパン 3000mm の 3 等分点荷重により行い、任意の荷重まで荷重した後に除荷し、再荷重する繰返し試験とした。また、除荷した際に 3. と同じ方法で試験体のレール長手方向の共振周波数を測定した。図 5 に試験体 No.1 における荷重と梁中央部の鉛直変位の関係を示す。なお、試験により得られた終局曲げ耐力は、いずれの経年軌道スラブにおいても理論値よりも大きく、所定の耐力を有していることが確認されている²⁾。また、図 6 に残留中央変位の平方根と共振周波数の関係を示す。同図より両者には相関関係があり、破壊が進展し変位が増加するにつれて、共振周波数が低下する傾向にあることが分かった。よって、共振周波数からひび割れ等に起因する断面力の低下を概ね推定することが可能であると考えられる。なお、鉄筋降伏時の共振周波数は試験体 No.1 が 313Hz、試験体 No.2 が 340Hz であり、3. で定義した f_i/f_0 の値はそれぞれ 0.67, 0.72 となった。

5. まとめ

経年軌道スラブの衝撃弾性波法による非破壊試験および曲げ強度試験により、軌道スラブ表面のひび割れの進展に伴い、その共振周波数は低下する傾向にあることが分かった。また、鉄筋が降伏するまで破壊が進行した場合は、初期の共振周波数からおよそ 30%低下することが確認された。これらの結果より、衝撃弾性波法により得られる共振周波数は、経年軌道スラブの健全度を評価する際の一指標となり得ると考えられる。ただし、実際に敷設されている軌道スラブはてん充填材による全面支持であるため、曲げ強度試験のような変形状態にはならないことを考慮する必要がある。また、鉄筋コンクリートのような不均一な複合部材の応答周波数は非常に複雑であり、鉄筋の他にも空隙や骨材との境界など多数の反射源が存在するため、共振周波数の推定については今後さらに詳細な検討が必要である。最後に、本試験の実施にあたり多大なるご助力を頂いた、西日本旅客鉄道(株)の関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 高橋貴蔵, 白江雄介, 関根悦夫, 西村昭彦, 星秀朋, 木村礼夫: 非破壊検査による軌道スラブの健全度診断(その 2), 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.9
- 2) 高橋貴蔵, 湊上翔太, 関根悦夫: 経年軌道スラブの曲げ耐力の検討, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 2010.9 (投稿中)

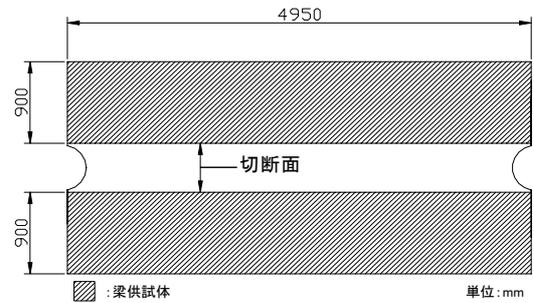


図 3 経年軌道スラブの切断位置

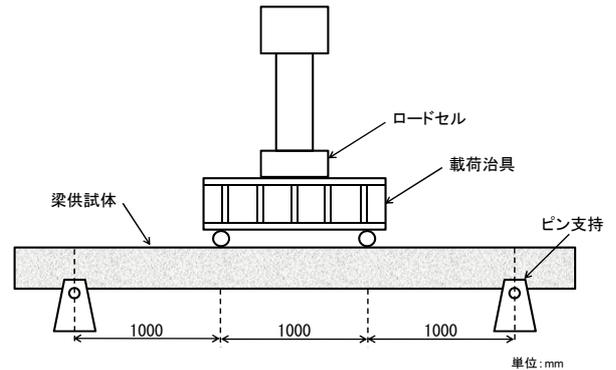


図 4 曲げ強度試験の概要

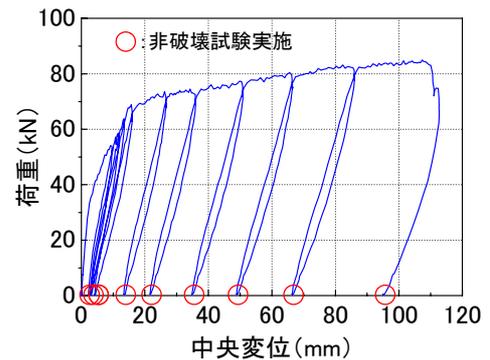


図 5 荷重-変位関係(試験体 No.1)

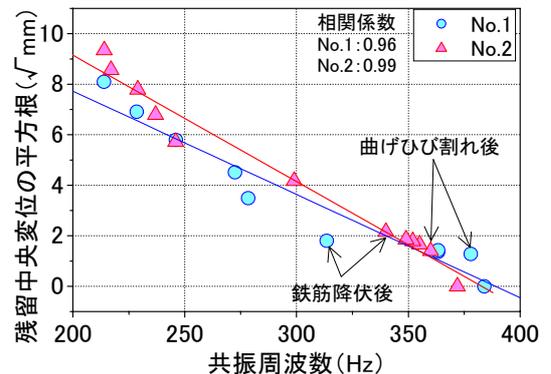


図 6 残留中央変位の平方根と共振周波数の関係