

列車荷重を想定した若材齢におけるてん充道床の曲げ疲労試験

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○伊藤孝記 桃谷尚嗣 岡崎新 高橋貴蔵

1. はじめに

本研究の目標は、軟弱路盤上で新たに敷設する既設線省力化軌道（以下、省力化軌道）を対象に、省力化軌道の施工と同時に施工可能な路盤改良工法（グラウト充填路盤改良工法（あと充填方式））を開発することである¹⁾（図1）。省力化軌道に路盤改良を適用することで塑性沈下が抑制されるとともに、列車通過によって生じるてん充道床下面の曲げ応力が低減できるため、軟弱路盤上に敷設した場合と比べて疲労破壊に対する供用期間が長くなることが期待される。

そこで、本研究では、路盤改良を適用した場合のてん充道床部の疲労寿命を評価するため、てん充道床の一軸圧縮試験、曲げ試験および曲げ疲労試験により強度特性を把握した。本報では、材齢1日および7日における上記の試験を実施した結果およびFEM解析により、軟弱路盤上で路盤改良を適用した場合のてん充道床下面に生じる曲げ応力を検討した結果について報告する。

2. 一軸圧縮試験

てん充道床の圧縮強度およびFEM解析に用いる弾性係数を把握するため、一軸圧縮試験を実施した。供試体（寸法：φ300mm×高さ600mm）は、新品バラスト（密度1.6g/cm³）に表1に示すグラウト材を充填して作製した。試験では、局所変位計（LDT）を供試体側面に取付け、微小変形時におけるひずみを測定した。供試体の養生条件は、材齢1日および7日とし、気中養生とした。

割線弾性係数 E_{sec} と軸ひずみの関係を図2に、一軸圧縮試験の結果を表2に示す。同表より、圧縮強度は材齢1日で4.25MPa、材齢7日で7.12MPaであった。また、列車荷重で生じるてん充道床下面のひずみレベルは、 10^{-4} 程度であり、一軸圧縮試験によるひずみ 10^{-4} における接線弾性係数 E_{sec} は材齢1日で9376N/mm²、7日で14753N/mm²であった。

3. 曲げ試験

曲げ試験に用いる供試体の寸法は、てん充道床厚が200mmであることを考慮して、高さ200mm×幅200mm×長さ800mmとした。供試体は、型枠にバラストを密度1.6g/cm³で敷詰め、表1に示したグラウト材を充填して3体作製した。養生条件は、材齢7日で気中養生とした。試験状況を図3に示す。試験は、せん断スパン200mm、曲げスパン200mmとした3等分点で行った。

曲げ試験結果を表3に示す。同表より、全ケースの最大荷重の平均値から求めた破壊荷重 P_b は15.98kNであった。

4. 曲げ疲労試験

曲げ疲労試験で用いる供試体は、上記曲げ試験と同じ寸法、作製方法、養生条件および材齢で作製した。試験条件は表4に示すとおり、目標とする破壊荷重比0.7、0.65、0.6および0.5となるように、荷重振幅 P を設定した。載荷周波数は20Hzとした。

曲げ疲労試験の結果を表5に示す。同表に、併せて各ケースの試験条件における供試体に作用す

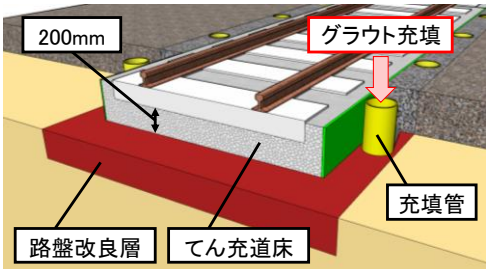


図1 路盤改良を適用した省力化軌道

表1 てん充道床に用いたグラウト材

40L作製			
ファルコン SB-Q	混練水	減水剤	調整剤
47.5kg	23.8kg	0.13kg	0.05kg

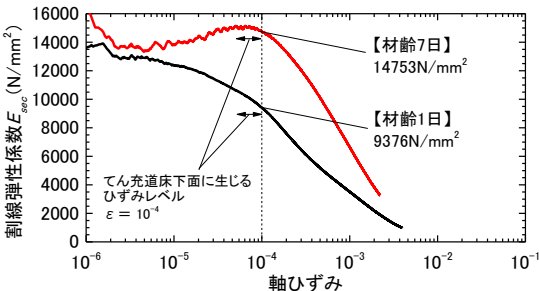


図2 割線弾性係数と軸ひずみの関係

表2 一軸圧縮試験の結果

試験ケース	材齢	圧縮強度 (MPa)	ひずみ 10^{-4} 時の 割線弾性係数 E_{sec} (N/mm ²)
case1	1日	4.25	9376
case2	7日	7.12	14753

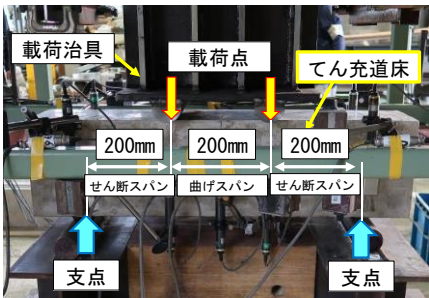


図3 曲げ試験の状況

表3 曲げ試験の結果

試験ケース	最大荷重(kN)	破壊荷重 P_b (kN)
case1	14.97	15.98
case2	16.04	
case3	16.92	

キーワード：既設線省力化軌道、路盤改良、てん充道床下面の曲げ応力

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道・路盤 tel 042-573-7276

る曲げ応力を併記した。破壊荷重比0.7（曲げ応力0.83MPa）では載荷900回で破壊したものの、破壊荷重比0.65（曲げ応力0.79MPa）では950万回載荷したが破壊はしなかった。また、破壊荷重比0.6（曲げ応力0.71MPa）で450万回、破壊荷重比0.5（曲げ応力0.56MPa）で800万回載荷しても破壊しなかった。case1とcase2では僅かな載荷条件の差にも関わらず、case1では900回で破壊し、case2では破壊しなかった。この理由として、本試験は材齢7日で実施したため、case2では繰り返し載荷中にてん充道床の引張強度が増加したことにより、破壊しなかった可能性が考えられる。併せて、供試体の強度のばらつきが含まれていた可能性も考えられる。

5. FEM解析

FEM解析では、軟弱路盤上の既設線省力化軌道を対象に、路盤改良を適用した場合のてん充道床下面に生じる曲げ応力を把握することとした。本解析では、 K_{30} 値が40MN/m³の様な剛性の地盤（以下、一様地盤）を対象に、グラウト充填路盤改良工法（あと充填方式）を厚さ200mm、250mm、300mm適用した省力化軌道のモデルを用いた。比較対象として改良厚0mm（以下、未改良）のケースも実施した。てん充道床の弾性係数は、一軸圧縮試験結果を基に、上記の曲げ試験および曲げ疲労試験の養生期間を踏まえて、材齢7日の接線弾性係数 E_{sec} を参考に、 $E=14000\text{N/mm}^2$ とした。列車荷重は、静止輪重80kNに対してロングレール区間の列車速度80km/hに相当する衝撃荷重1.24を考慮した輪重100kNを解析モデル中央に2軸作用させた（図4）。表6に解析で用いた物性値を示す。

図5に路盤改良厚250mmにおけるてん充道床下面に生じる曲げ応力のコンター図を、図6に解析結果を示す。同図より、てん充道床下面に生じる曲げ応力は、未改良で1.264MPa、改良厚200mmで0.925MPa、250mmで0.849MPa、300mmで0.776MPaであった。路盤改良を適用した場合の未改良に対するてん充道床下面に生じる曲げ応力の低減率は、改良厚200mmで26.8%、250mmで32.8%、300mmで38.6%であった。

K_{30} 値が40MN/m³の軟弱路盤条件において、曲げ疲労破壊に関する照査に用いる安全係数を考慮しない場合では、「4. 曲げ疲労試験」の結果を踏まえると、てん充道床が破壊しなかったケースの曲げ応力0.79MPaとなる改良厚は290mmとなった。

6. おわりに

今後は、長期供用条件におけるてん充道床の疲労破壊に関しては材齢28日以降の供試体を用いて評価する予定である。さらに、長期供用条件におけるてん充道床の曲げ疲労破壊を包含した既設線省力化軌道用の路盤改良厚の設計方法を提案する予定である。

【参考文献】

- 1) 伊藤孝記、桃谷尚嗣、木次谷一平、神津大輔、栗原巧：営業線における既設線省力化軌道用路盤改良工法の試験施工、第73回土木学会年次学術講演会、2018.9

表 4 曲げ疲労試験の条件

試験ケース	破壊荷重比 P/Pb	最大荷重 (kN)	最小荷重 (kN)	荷重振幅P (kN)
case1	0.70	12.0	1.0	11.0
case2	0.65	11.5		10.5
case3	0.60	10.5		9.5
case4	0.50	8.5		7.5

表 5 曲げ疲労試験の結果

試験ケース	破壊荷重比	曲げ応力 (MPa)	載荷回数	備考
case1	0.70	0.83	約900回	破壊
case2	0.65	0.79	未破壊	(参考) 約950万回で 載荷終了
case3	0.60	0.71	未破壊	(参考) 約450万回で 載荷終了
case4	0.50	0.56	未破壊	(参考) 約800万回で 載荷終了

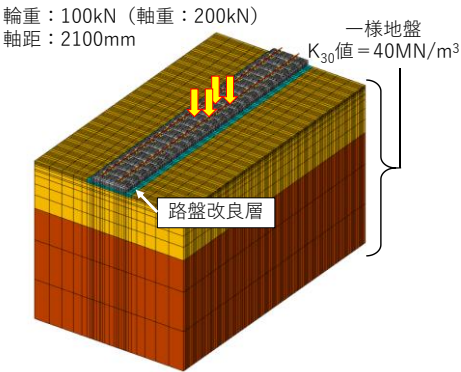


図 4 既設線省力化軌道の解析モデル

表 6 解析で用いた物性値

部材	弾性係数(N/mm ²)	ポアソン比
PCまくらぎ	35000	0.17
てん充道床	14000	0.2
路盤改良層	1000	0.3
一様地盤 K_{30} 値=40MN/m ³	深さ0-3m 24.4 深さ3-10m 48.8	0.3

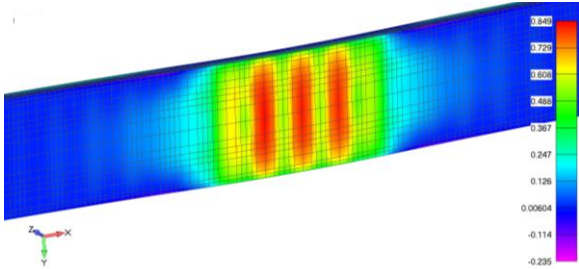


図 5 てん充道床下面の曲げ応力のコンター図

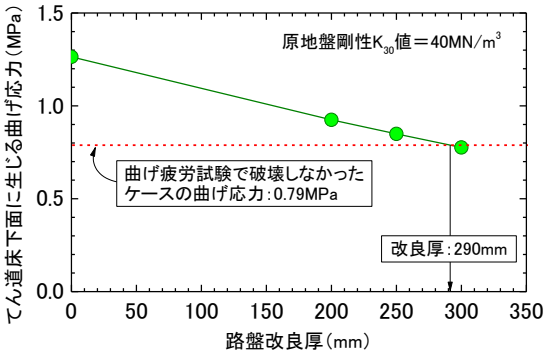


図 6 てん充道床下面に生じる曲げ応力と路盤改良厚の関係