

繊維補強道床コンクリートを用いた弾直軌道の性能試験

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○向井 明 安藤 勝敏 堀池 高広
日本鉄道建設公団 中原 哲
北武コンサルタント(株) 正会員 渡辺 忠朋
鉄建建設(株) 正会員 益田 彰久

1. はじめに

平成 17 年度に開業予定の「つくばエクスプレス」(秋葉原～つくば間 58.3km) の軌道構造の一部として、図 1 に示すような弾性まくらぎ直結軌道(以下、弾直軌道と略称)の敷設が計画されている。従来、この種の道床コンクリートは鉄筋コンクリート構造であったが、配筋作業の省力化を目的としてビニロン繊維を混入して補強したコンクリートまたはモルタル(以下、VFRCと略称)を用いることの妥当性について検討した。

2. 実物大試験

道床コンクリートにVFRCを用いた実物大軌道を製作し、その性能試験を行った。なお、本報告においては、一般的なVFRCのポンプ圧送において支障なく施工可能とされている繊維混入率として体積比で 2.0%を設定した。

(1) レール直角方向荷重試験

レール直角方向荷重に対する道床コンクリートの耐力を確認するため、図 2(a)に示すようにまくらぎ 1 本軌道に対してジャッキにより単調荷重を行った。荷重荷重と道床コンクリート変位、まくらぎ変位および道床コンクリート亀裂変位の関係を図 3 に示す。図より、まくらぎ変位 2mm に対する荷重荷重は約 27kN で、この軌道の道床横抵抗力は $27\text{kN} / (2 \times 0.625\text{m}) = 22\text{kN/m}$ の値を示し、必要抵抗力 5kN/m の約 4.5 倍となった。ひび割れは、80kN 荷重時に VFRC の切り欠き部の角に発生し、その後さらに側面に広がったが、最終的な最大荷重は 124kN であった。この値は設計最大レール横圧力 $150\text{kN} / 2 \times 0.8 \times 0.45 = 27\text{kN}$ (0.45 は連続弾性支持モデルより算出の荷重分散率) の約 4.5 倍である。

(2) レール長手方向荷重試験

レール長手方向荷重に対する道床コンクリートの耐力を確認するため、図 2(b)に示すまくらぎ 4 本軌道のレールを同様にジャッキにより単調荷重を行った。試験条件は直結 4 K 形レール締結装置の標準緊締トルク ($60\text{N} \cdot \text{m}$) および過緊締 (約 $300\text{N} \cdot \text{m}$) の 2 ケースとした。荷重荷重と変位の関係は図 4 に示すとおりで、標準緊締の場合、設計値 $10\text{kN/m} \times (1/2) \times 2.5\text{m} = 12.5\text{kN}$ とほぼ同じあるいはやや大きい 15kN 付近でレールが滑動した。従って、適切な締結が行われれば、過大な水平荷重は下部に伝わらないことが確認された。また、過緊締の場合には 40kN 付近からまくらぎ変位が増加し始め、次第に軌きょうが道床コンクリートに乗り上げる傾向が見られ最大荷重は 100kN を示した。この値は、ロングレール縦抵抗力 $10\text{kN/m} \times 2.5\text{m} = 25\text{kN}$

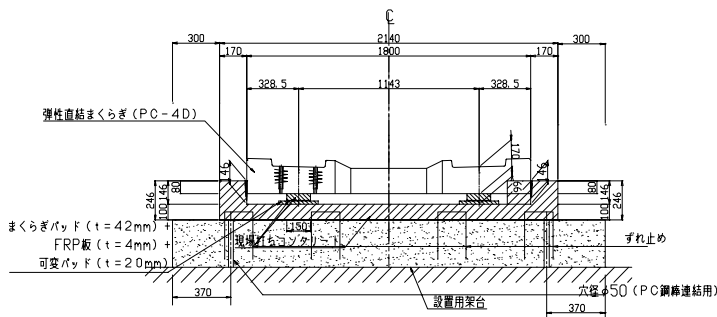
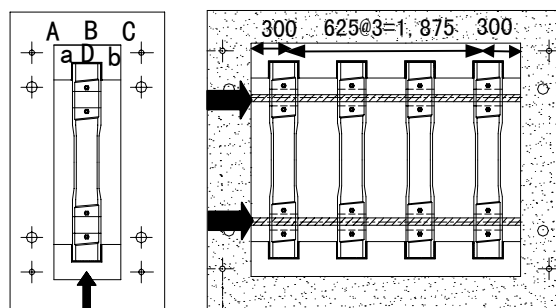


図 1. 弾直軌道構造



(a) レール直角方向 (b) レール長手方向

図 2. 実物大試験

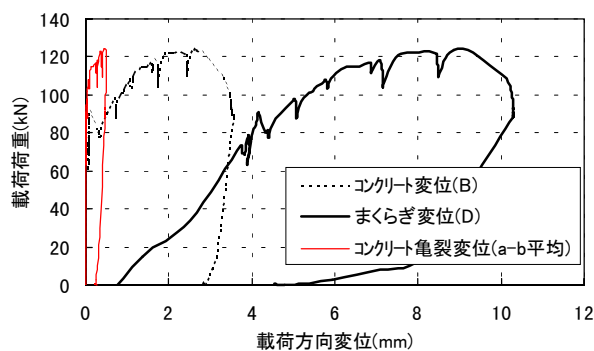


図 3. 荷重荷重と変位の関係（レール直角方向）

と始制動荷重 $150\text{kN} \times 0.25 = 37.5\text{kN}$ を合計した 62.5kN の約 1.5 倍である。本試験は輪重を載荷していないため実際には更に余裕があり、始制動荷重を除けば、約 4 倍の抵抗力があると考えられる。また、試験終了後の目視試験の結果、VFRCやまくらぎにひび割れや大きな変形の発生は認められなかった。

3. 疲労試験

VFRCのS-N曲線を得るために、表1に示すような2種類の配合による部分試験体（図5）を作製し、8種類の荷重レベルで疲労試験を行った。なお、載荷方向はジャッキシステムの関係から鉛直方向が望ましく、さらに荷重の偏心を発生させないために、モデル2組を背中合わせにした形状のものを試験体とした。試験結果は、表1および図6に示すとおりで、破壊に至った荷重データP（②、⑤、⑥）を使用し、近似式を算出したところ図6中の式が得られた。なお、式中のPmaxは静的な最大荷重平均である。破壊に至らなかったデータについても近似線近傍に位置しており、破壊に到達する直前であったように見受けられるが、試験時の観察からは、ひび割れの進展は見られなかった。また、図7は載荷回数と変位の関係を示したもので、破壊に至る場合は直前に急激な変位の増加が認められる。よって、破壊までには、まだ余裕があると考えられ、図6中の近似線も荷重レベルの低い範囲では曲線を描いている可能性がある。

一方、つくばエクスプレスの設計年間通過トン数は2,700万トン、設計耐用年数は45年、設計最大レール横圧力は前述したように27kNを想定しており、急曲線における繰返し荷重(P)/最大荷重平均(Pmax)は0.153となる。この値を図6中の式に当てはめると載荷回数Nは7億2,000万回となる。これを耐用年数に換算すれば、7億2,000万回 $\times$ 15トン/2,700万トン/年=400年となり、設計耐用年数45年を十分満足する。

4. まとめ

ビニロン繊維補強道床コンクリートを使用した弾直軌道を新設線に適用するのは、強度および耐久性の観点から問題ない。なお、今回の試験はポンプ圧送を前提に繊維混入率を2%とした場合の結果であるが、疲労による本構造の耐用年数は繊維混入率に大きく依存するため、施工条件や設計条件によっては混入率を減ずるなどの検討を行い、更に経済的な構造とすることは可能である。

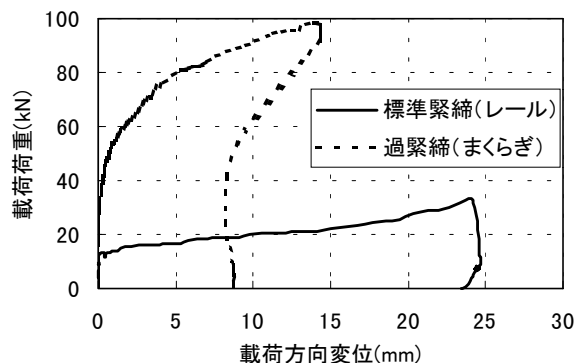


図4. 載荷荷重と変位の関係（レール長手方向）

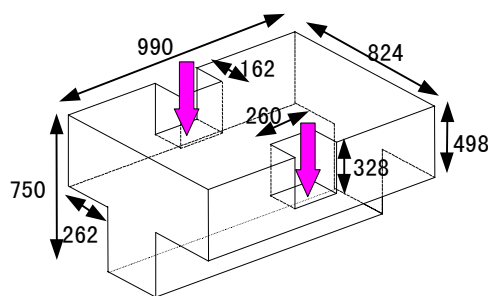


図5. 部分試験体

表1. 疲労試験結果

配合	静的最大荷重 (kN)	最大荷重平均 Pmax (kN)	使用試験体	試験順序	繰返し荷重 P (kN)	P/Pmax	載荷回数 (N)	終了状態
A	187.5	176.4	A-No.2	①	18.9	0.11	3,000,000	非破壊
				②	94.2	0.53	92,818	破壊
			A-No.3	③	56.5	0.32	6,200,000	非破壊
				④	140.8	0.80	530	破壊
B	165.2	176.4	B-No.2	⑤	116.2	0.66	3,695	破壊
				⑥	106.9	0.61	9,568	破壊
			B-No.4	⑦	64.1	0.36	3,000,000	非破壊
				⑧	73.6	0.42	700,000	非破壊

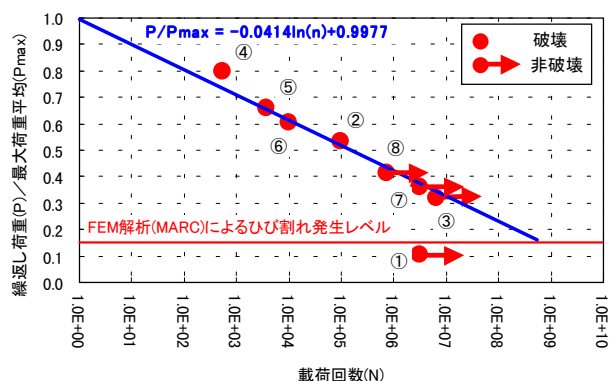


図6. 載荷回数と荷重の関係

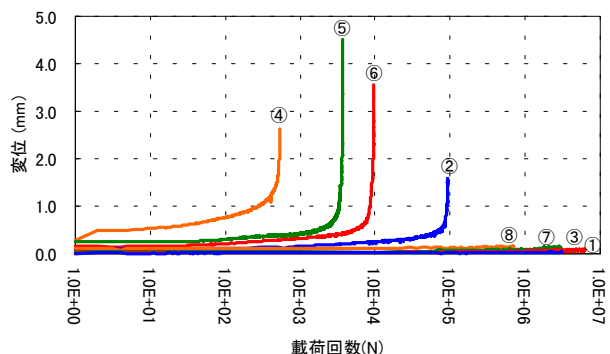


図7. 載荷回数と変位の関係