

施工時におけるプレパックドコンクリート道床敷設条件に関する検証

東京地下鉄株式会社 正会員 ○松川 俊介
 東京地下鉄株式会社 正会員 米原 善秀
 東京地下鉄株式会社 藤井 諒
 (株)日本線路技術 正会員 安藤 勝敏
 (株)日本線路技術 正会員 青木 宣頼

1. はじめに

プレパックド工法は、施工翌日の列車を通常運行させながらコンクリート道床を構築する工法である。過去の研究より、仮設バラスト道床期間が長期化した場合、使用によりバラスト表面に付着する埃等の影響でコンクリートの強度低下が生じる¹⁾が、レールサポーターを設置することで、無収縮モルタルの材令2時間設計基準強度が緩和できる²⁾ことを確認している。本論文では、モルタル設計基準強度の9割以上を確保する場合、モルタル打設時に必要なレールサポーター設置間隔及び道床肩幅を明らかにするために、軌道条件（速度、曲線半径及びカント不足量）ごとに、力学的な照査を行った結果を報告する。

2. FEM解析条件

対象は、トンネル内のコンクリート道床防振軌道であり、道床肩幅を200mm(東京メトロ標準)または250mmとした時の標準軌及び狭軌の標準断面(図-1)とした。また、レール長手方向は、まくらぎ15本分を検討長さとし、(a)レールサポーターなしに加えて、道床に発生する応力逓減を目的として、(b)レールサポーター間隔2,825mm、(c)同2,260mm(以下、(a)、(b)、(c)とする。)の3ケースとした(図-2)。上記軌道構造をモデル化してFEM解析を行い、その応答値を基に、鉄道構造物等設計標準・同解説軌道構造³⁾により、コンクリート道床の破壊に対する性能照査を行った。なお、解析条件は、現況の線路諸元を考慮して表-1の通りとした。また、材令2時間圧縮強度は、仮設バラスト道床期間の長期化による強度低下を考慮し、設計基準強度の9割(9N/mm²)を基準とした。

3. FEM解析結果

(1) 横圧とコンクリート道床発生応力の関係

検討対象の軌道構造がモノまくらぎ構造であるため、軌間に関わらず、内外軌横圧差と最大主応力との相関が高いことを確認した。これは、道床肩部に作用する水平荷重が、内外軌横圧差に影響されることを意味している。よって、曲線半径、列車速度及びカントに応じて算定した内外軌横圧の差が最大となった曲線半径について、レールサポーター設置間隔及び道床肩幅の条件を変えて照査を行った。なお、標準軌ではR=200m、狭軌ではR=500mの時に内外軌横圧差が最大となった。

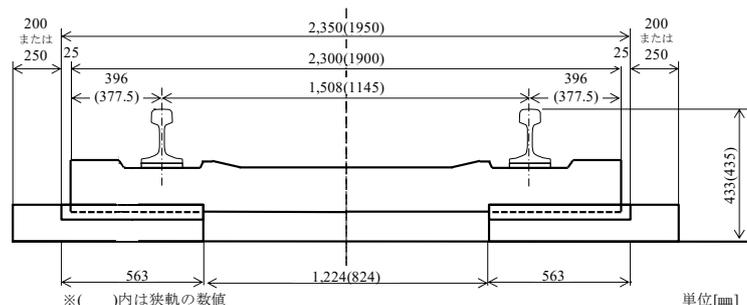


図-1 軌道構造標準断面

表-1 解析条件

軌間	標準軌 1,435mm	狭軌 1,067mm
曲線半径	160m~900m	160m~700m
レール	50Nレール	
まくらぎ間隔	565mm	
列車速度	55~75km/h	45~100km/h
カント	曲線半径及び列車速度に応じて設定	
軸重	16t	15t
内外軌輪重P	曲線半径、列車速度及びカントに応じて算定	
内外軌横圧Q	曲線半径、列車速度及びカントに応じて算定	

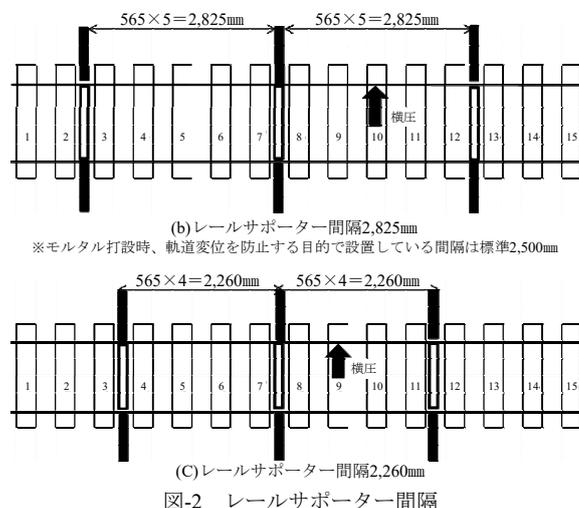


図-2 レールサポーター間隔

キーワード プレパックド工法、設計基準強度、レールサポーター間隔、道床肩幅

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 東京地下鉄株式会社 工務部軌道課 TEL 03-3837-8084

(2) レールサポーター設置間隔に関する照査

コンクリート道床の破壊に対する性能照査結果を表-2に示す。標準軌は、道床肩幅 200 mmの場合、曲線半径 $R \geq 600m$ における照査値は、(a)で所要性能を満足した(表-2 Case1)。しかし、同条件での $R < 600m$ における照査値は、(b)としても最大主応力の所要性能を満たさなかった(表-2 Case2, 図-3)。そこで、レールサポーター間隔を(c)としたところ、所要性能を満足する結果となった(表-2 Case3, 図-4)。一方、狭軌は、道床肩幅 200 mmで(a), (b)の場合、いずれの曲線半径においても所要性能を満たさなかった(表-2 Case6)。そこで、標準軌と同様にレールサポーター間隔を(c)としたところ、所要性能を満足する結果となった(表-2 Case7)。よって、モルタルを打設する際には、標準軌かつ $R \geq 600m$ の場合は、現行の軌道変位を防止するために設置しているレールサポーターの間隔(標準 2,500 mm)を変える必要はないが、それ以外の場合は、レールサポーター間隔を 2,260 mmにする必要があることがわかった。

(3) 道床肩幅に関する照査

表-2の Case4, Case8の通り、道床肩幅 250 mmの場合、標準軌は(a), 狭軌は(b)の条件で、いずれの曲線半径においても所要性能を満足した。また、最大主応力は道床肩幅に反比例して減少し、標準軌は道床肩幅 207 mm, 狭軌は 208 mmの場合に照査値が 1.0 となる結果となった(図-5)。よって、道床肩幅が 210 mm以上確保できていれば、軌間や曲線半径に関わらず、(b)の条件で所要性能を満足するため、現行のレールサポーター間隔を変えずに、モルタル打設が可能であることがわかった。

(4) 材令 28 日時の照査

設計耐用期間中の変動作用の繰返しに対する軌道構造の耐荷性能を確認するために、材令 28 日時の疲労破壊について照査した。表-2の Case5, Case9の通り、道床肩幅 200 mm及び(a)の場合、標準軌、狭軌ともに、いずれの曲線半径でも基準強度を満足する結果が得られた。

4. まとめ

モルタル打設時のレールサポーター設置間隔を表-3に示す。今回の照査結果より、道床肩幅 $200 \text{ mm} \leq B < 210 \text{ mm}$ の場合、標準軌は曲線半径 $R < 600m$, 狭軌は全曲線において、レールサポーター設置間隔を現行の標準 2,500 mmから 2,260 mmへ変更することで、モルタル打設が可能であることがわかった。今後は、仮設バラスト道床期間における各軌道材料の強度について検討を行い、プレパックド工法で安全に施工する方法を確立していきたいと考える。

参考文献

- 1) 斉藤秀, 森田義人: 仮設バラスト表面に付着した粉塵による圧縮強度への影響評価, 土木学会第 70 回学術講演, 2015.9
- 2) 阿部正和, 飯塚俊明, 久保田聡一: プレパックド工法の設計基準強度検証, 土木学会第 72 回年次学術講演会 2017.9
- 3) 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説軌道構造, 2012.1.

表-2 コンクリート道床の破壊に対する性能照査結果

軌間	Case	標準軌 1435mm					狭軌 1067mm			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
静止軸重	Wg(t)	15	15	15	15	15	16	16	16	16
速度	v(km/h)	75	60	60	60	60	85	85	85	85
材令		2時間	2時間	2時間	2時間	28日	2時間	2時間	2時間	28日
軸重P(kN)	外軌	105.8	106.5	106.5	106.5	106.5	126	126	126	126
	内軌	91.49	82.6	82.6	82.6	82.6	92.7	92.7	92.7	92.7
横圧Q(kN)	外軌	69.0	74.9	74.9	74.9	74.9	78.2	78.2	78.2	78.2
	内軌	-20.0	-22.8	-22.8	-22.8	-22.8	-23.5	-23.5	-23.5	-23.5
曲線半径	R(m)	600	200	200	200	200	500	500	500	500
カント	C(mm)	66	133	133	133	133	75	75	75	75
道床肩幅	B(mm)	200	200	200	250	200	200	200	250	200
材料基準圧縮強度	$\sigma_{28}(N/mm^2)$	9	9	9	9	24	9	9	9	24
道床コンクリート弾性係数	E(kN/mm ²)	9.2	9.2	9.2	9.2	17.4	9.2	9.2	9.2	17.4
レールサポーター	(a) なし		○			○				○
	(b) 間隔2,825mm			○(注1)			○(注2)			○
照査(最大主応力 σ_1)	(c) 間隔2,260mm			○						○
	曲げ引張応力 $\sigma_g(N/mm^2)$	0.623	0.642	0.535	0.494	0.677	0.671	0.555	0.502	0.710
	曲げ引張強度特性値 $\sigma_{tg}(N/mm^2)$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.69	1.00	1.00	1.00	1.70
	曲げ引張強度限界値 $\sigma_{tg}(N/mm^2)$	0.70	0.70	0.70	0.70	1.18	0.70	0.70	0.70	1.30
	軌道構造係数 γ_i	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
照査(最大せん断応力 τ_{max})	せん断応力 $\tau_d(N/mm^2)$	0.801	0.829	0.695	0.832	0.869	0.865	0.720	0.844	0.910
	せん断強度特性値 $\tau_{td}(N/mm^2)$	3.07	3.07	3.07	3.07	8.13	3.07	3.07	3.07	8.13
	せん断強度限界値 $\tau_{td}(N/mm^2)$	2.15	2.15	2.15	2.15	5.69	2.15	2.15	2.15	5.69
	軌道構造係数 γ_i	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	照査値: $\gamma_i \cdot \tau_d / \tau_{td}$	0.41	0.42	0.36	0.43	0.17	0.44	0.37	0.43	0.18
判定(<1.0)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	

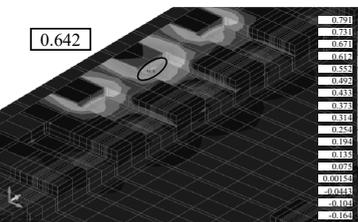


図-3 応力変位図(表-2 Case2)

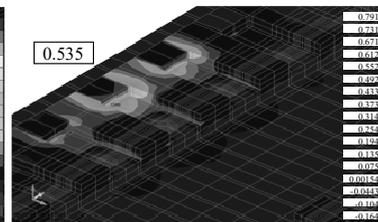


図-4 応力変位図(表-2 Case3)

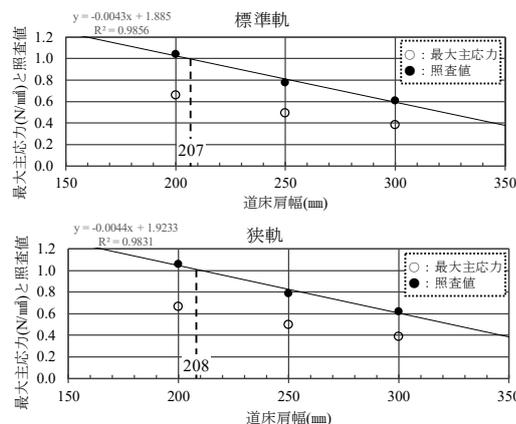


図-5 最大主応力及び照査値と道床肩幅の関係

表-3 モルタル打設時のレールサポーター設置間隔

道床肩幅	200mm ≤ B < 210mm		210mm ≤ B
	狭軌	標準軌	標準軌, 狭軌
曲線半径	全曲線	160m ≤ R < 600m	600m ≤ R 全曲線
レールサポーター	(C)間隔2,260mm		(a)なし (b)間隔2,825mm
モルタル打設	レールサポーター間隔を2,260mmとすることで打設可能		現行通りレールサポーター間隔2,500mm(標準)で打設可能