

19. 舗装工の追加転圧における振動タイヤローラの適用

—25ton タイヤローラと 9ton 振動タイヤローラの比較—

酒井重工業(株) 技術開発部 ○眞壁 淳
酒井重工業(株) 技術開発部 内山 恵一
(株)高速道路総合技術研究所 舗装研究室 加藤 亮

1. はじめに

東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、および西日本高速道路(株)の『土木工事共通仕様書』¹⁾に記載されている舗装工において、路盤準備工および粒状路盤工の追加転圧に使用する機械は、質量 25ton 以上のタイヤローラ（以下、「25t タイヤ」）と定められている。しかしながら、近年、稼働可能な 25t タイヤは市場から減少しつつあり、施工現場では調達困難な状況となっている。

9t 級振動タイヤローラ（以下、「9t 振動タイヤ」）は、加熱アスファルト混合物や粒状路盤材を用いた締固め試験において 25t タイヤと比較された結果、同等の締固め効果が報告されている²⁾。このことから、筆者らは舗装工の追加転圧にも 9t 振動タイヤが適用可能と考えた。

本論文では、舗装工の追加転圧において、9t 振動タイヤが 25t タイヤと同等かそれ以上の締固め効果を有し、かつ、品質管理基準を満足することが可能であるか確認することを目的に、実施方法を参考にして実施した室内および現場締固め試験の結果について記述する。

2. 締固め試験方法

2.1 室内試験の概要

コンクリートピットと試験の概要を図-1 に示す。コンクリートピットは、全長 20m、試験区間 15m、幅 3m、深さ 95cm である。はじめに、たわみ測定用荷重車の進入を考慮し、上部路床 1、2 層（仕上り厚 15cm×2）を構築した際の全層厚が 95cm になるよう、砂質ロームを用いた厚さ 65cm の下部路床を構築した。下部路床は、十分な地盤剛性となる

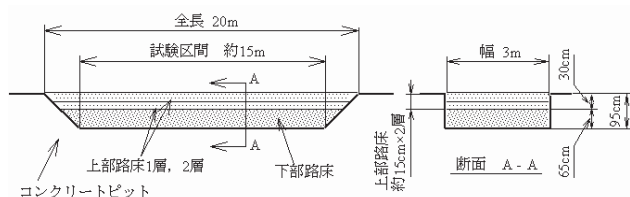


図-1 室内締固め試験概要

よう、1 層の仕上がり厚さを 9~10cm として 4t 級振動ローラで締固め、NEXCO が定める品質管理基準（以下、「品質管理基準」）である締固め度 90% 以上³⁾、加えて現場 CBR60±5% で管理した。次に、上部路床 1、2 層は、現場の施工方法を参考に、12t 級土工用振動ローラ（以下、「12t 振動ローラ」）で締固め、文献 3) の品質管理基準である締固め度 95% 以上およびタンデム車によるたわみ量 5mm 以下で管理した。この後、『土木工事共通仕様書』に記載された 2 種類の追加転圧方法、すなわち 10cm かき起こしの有無について 25t タイヤおよび 9t 振動タイヤを用いた追加転圧に関する比較試験を実施した。

2.1.1 室内試験用土の性状

土質は、「細粒分質礫質砂 (SGF)」に分類された茨城県笠間産山砂（以下、山砂）で、文献 3) の「盛土工の材料基準」に適合している。表-1 に、室内試験用土の土質試験結果を示す。試験時の含水比は、上部路床 1、2 層を構築する際は 12t 振動ローラの締固めエネルギーを考慮して、最適含水比より乾燥側の 8% を、10cm かき起こしの際は 25t タイヤおよび 9t 振動タイヤの締固めエネルギーを考慮して、かき起こした 10cm 分の室内試験用土を最適含水比より湿潤側の 10% を目標に調整した。

2.1.2 締固め機械仕様

試験に用いた 12t 振動ローラ、25t タイヤおよび 9t 振動タイヤの概略仕様を表-2 に示す。

2.1.3 締固め条件

10cm かき起こし無しの場合、上部路床 2 層目を構築後、追加転圧として 25t タイヤおよび 9t 振動タイヤで 4 回（2 往復）締固めた。

10cm かき起こし有りの場合、かき起こし無しの試験終了後、締固め面から深さ 10cm をかき起こし、追加転圧として 25t タイヤおよび 9t 振動タイヤで 16 回（8 往復）締固めた。締固め速度は、各締固め機械ともに約 2km/h である。

2.1.4 評価および測定項目

品質管理基準は、文献 4) の突砂法による締固め度 95% 以上およびタンデム車によるたわみ量 5mm

表-1 室内試験用土の土質試験結果

試験用土	山砂
最適含水比 (E 法) [%]	9.0
最大乾燥密度 (E 法) [g/cm ³]	2.032
土粒子密度 [g/cm ³]	2.647
最大粒径 [mm]	9.5

表-3 現場試験用土の土質試験結果

試験用土	切込砕石
最適含水比 (E 法) [%]	5.9
最大乾燥密度 (E 法) [g/cm ³]	2.207
土粒子密度 [g/cm ³]	2.690
最大粒径 [mm]	53.0

表-2 締固め機械仕様概略 (室内締固め試験)

機種	12t 振動ローラ	25t タイヤ	9t 振動タイヤ
運転質量 [kg]	12,610	25,050	9,000
前軸質量 [kg]	7,070	10,620	3,860
後軸質量 [kg]	5,540	14,430	5,140
締固め幅 [mm]	2,130	2,085	1,950
軸距 [mm]	2,970	4,100	3,000
起振力 [kN]	255	-	前:45.1 後:58.4
振動数 [vpm]	1,700	-	2,400
タイヤ[本] 径×幅[mm]	-	前:3, 後:4 1,110×314	前:3, 後:4 970×370
空気圧 [kPa]	-	539	441

表-4 締固め機械仕様概略 (現場締固め試験)

締固め機械	9t マカダム
運転質量 [kg]	8,770
前軸質量 [kg]	4,460
後軸質量 [kg]	4,310
締固め幅 [mm]	2,100
軸距 [mm]	3,300

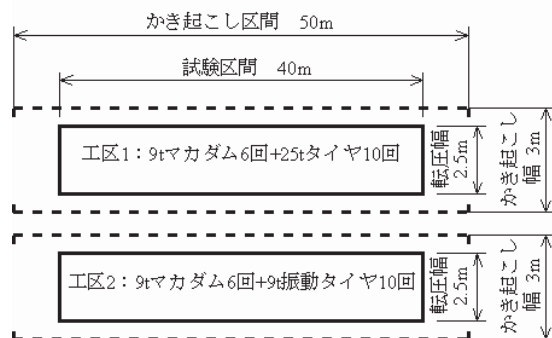


図-2 現場締固め試験概要

以下である。その他、締固め効果を総合的に判断するため、現場 CBR および小型 FWD による $K_{P,FWD}$ も同時に測定した。なお、 $K_{P,FWD}$ は、載荷板直径 30cm 相当に補正した K 値 (支持力係数) である。

2.2 現場試験の概要

試験工区と現場試験の概要を図-2 に示す。現場締固め試験では、路床工事が完了した区間の一部に二つの試験工区を設け、文献 1) に記された 10cm かき起こし有りの場合について、25t タイヤおよび 9t 振動タイヤを用いた追加転圧に関する比較試験を実施した。

2.2.1 現場試験用土の性状

土質は、「砂質礫 (GS)」に分類された切込砕石で、文献 3) の「盛土工の材料基準」に適合している。表-3 に、現場試験用土の土質試験結果を示す。含水比条件は、現場試験用土が乾燥状態にあったことから、かき起こした後に試験工区へ散水を行った。

2.2.2 締固め機械仕様

試験に用いた 9t 級マカダムローラ (以下、「9t マカダム」) の概略仕様を表-4 に示す。25t タイヤと 9t 振動タイヤは、室内試験と同様である。

2.2.3 締固め条件

締固め方法は、現場の施工方法に従い、10cm かき起こし後に 9t マカダムを用いて 6 回 (3 往復)、次に、25t タイヤおよび 9t 振動タイヤを用いて 10 回 (5 往復) 締固めた。締固め速度は、9t マカダムで約 3km/h、25t タイヤおよび 9t 振動タイヤで約 4km/h であった。

2.2.4 評価および測定項目

品質管理基準は、室内試験と同様に締固め度およびたわみ量である。その他、小型 FWD による $K_{P,FWD}$ を同時に測定した。

3. 締固め試験結果と考察

3.1 室内締固め試験

図-3 に 10cm かき起こし無しの場合の締固め回数と締固め度の関係を示す。図中の P2' は、試験用土撒き出し後の初期状態を一定にする目的で、4t 級ローラで無振動 2 回の締固めを示す。12t 振動ローラで 12 回締固め後 (P12) の締固め度が 102.1% であったのに対し、25t タイヤで 4 回の追加転圧後 (P16) は 102.5%、9t 振動タイヤで 4 回の追加転圧後 (P16) は 102.3% であり、追加転圧による変化はなかった。これは、25t タイヤおよび 9t 振動タイヤの締固めエネルギーが 12t 振動ローラに対して小さいためと考える。表-5 は、たわみ量の測定結果を示す。25t タイヤと 9t 振動タイヤの差は 0.1mm 未満で、同等の結果であった。図-4 および図-5 は、締固め回数と現場 CBR および $K_{P,FWD}$ の関係を示す。図-4 では、12t 振動ローラで 12 回締固め後 (P12) の現場 CBR が 71.0% であったのに対し、25t タイヤで 4 回の追加転圧後 (P16) は 83.5%、9t 振動タイヤで 4 回の追加転圧後 (P16) は 79.3%

に増加した。また、図-5においても、12t 振動ローラで 12 回締固め後 (P12) の $K_{P,FWD}$ が 330MN/m^3 であったのに対し、25t タイヤで 4 回の追加転圧後 (P16) は 413MN/m^3 、9t 振動タイヤで 4 回の追加転圧後 (P16) は 407MN/m^3 に増加した。このことは、横田らによって 25t タイヤについて報告されており⁵⁾、追加転圧後の現場 CBR および $K_{P,FWD}$ が 25t タイヤと 9t 振動タイヤで同等であることから、9t 振動タイヤにも 25t タイヤと同等に地盤剛性を増加させる効果があると、今回新たに確認された。

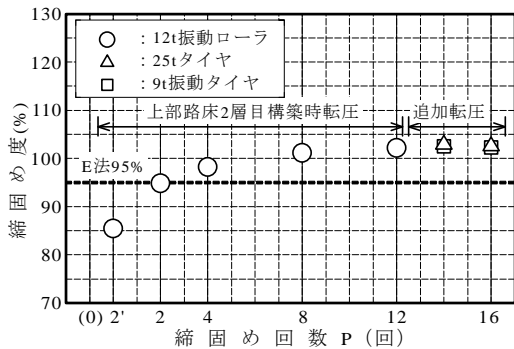


図-3 山砂における締固め回数と締固め度の関係 (10cm かき起こし無し, 平均含水比 7.7%)

表-5 山砂におけるたわみ量測定結果 (10cm かき起こし無し, 平均含水比 7.7%)

締固め回数	12		16	
締固め機械	12t 振動ローラ	25t タイヤ	9t 振動タイヤ	
たわみ量[mm]	1.10	0.96	1.03	

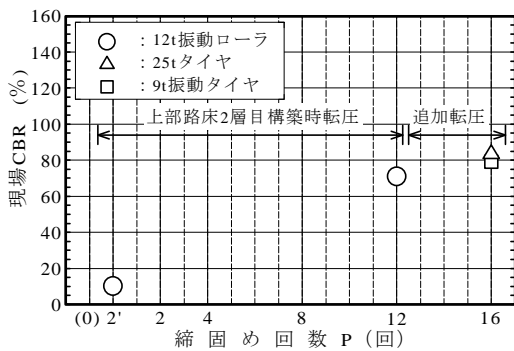


図-4 山砂における締固め回数と現場 CBR の関係 (10cm かき起こし無し, 平均含水比 7.7%)

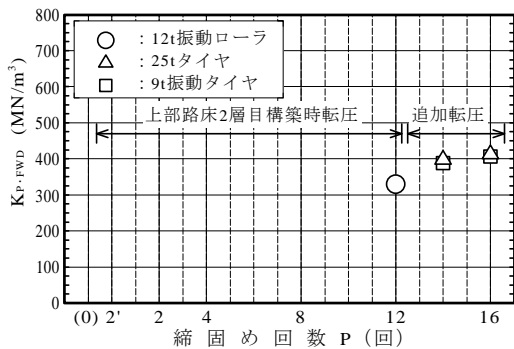


図-5 山砂における締固め回数と $K_{P,FWD}$ の関係 (10cm かき起こし無し, 平均含水比 7.7%)

図-6 に 10cm かき起こし有りの場合の締固め回数と締固め度の関係を示す。25t タイヤで 16 回締固め後 (P16) の締固め度は 94.8%, 9t 振動タイヤで 16 回締固め後 (P16) は 97.0%であり、2~8 回締固め後 (P2~8) の結果と併せても 9t 振動タイヤは 25t タイヤと同等で、かつ品質管理基準である 95%以上を満足することが確認された。表-6 は、たわみ量の測定結果を示す。25t タイヤと 9t 振動タイヤは品質管理基準である 5mm 以下を十分に満足しており、両締固め機械の差も 0.1mm 未満で

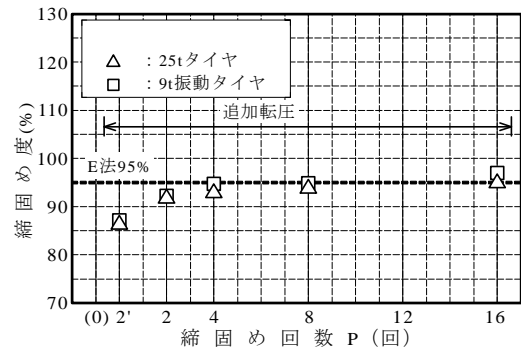


図-6 山砂における締固め回数と締固め度の関係 (10cm かき起こし有り, 平均含水比 8.9%)

表-6 山砂におけるたわみ量測定結果 (10cm かき起こし有り, 平均含水比 8.9%)

締固め回数	16	
締固め機械	25t タイヤ	9t 振動タイヤ
たわみ量[mm]	1.17	1.26

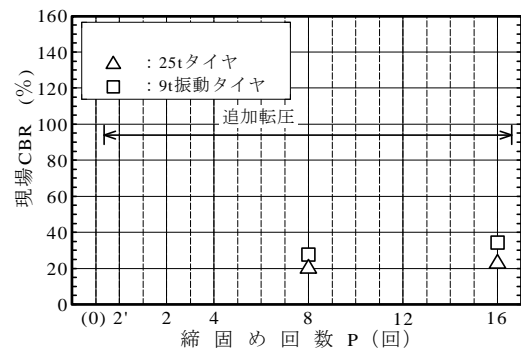


図-7 山砂における締固め回数と現場 CBR の関係 (10cm かき起こし有り, 平均含水比 8.9%)

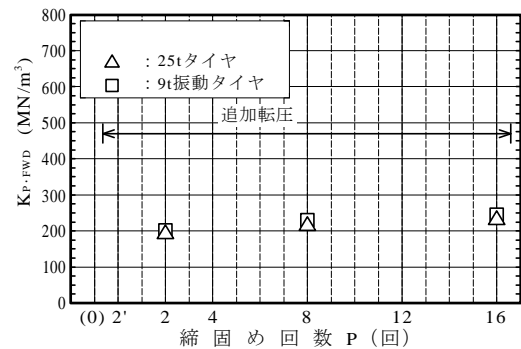


図-8 山砂における締固め回数と $K_{P,FWD}$ の関係 (10cm かき起こし有り, 平均含水比 8.9%)

同等の結果であった。図-7 および図-8 は、締固め回数と現場 CBR および $K_{P,FWD}$ の関係を示す。図-7 において、25t タイヤで 16 回締固め後 (P16) の現場 CBR は 22.6%、9t 振動タイヤで 16 回締固め後 (P16) は 34.4% であり、8 回締固め後 (P8) の結果と併せて 9t 振動タイヤが約 10% 高い結果となった。図-8 においては、25t タイヤで 16 回締固め後 (P16) の $K_{P,FWD}$ は 231MN/m^3 、9t 振動タイヤで 16 回締固め後 (P16) は 245MN/m^3 であり、2~8 回締固め後 (P2~8) の結果と併せても 9t 振動タイヤは 25t タイヤと同等であった。これらの結果から、室内試験では、9t 振動タイヤの締固め効果は、25t タイヤと同等かそれ以上であることが確認された。

3.2 現場締固め試験

図-9 は、締固め回数と締固め度の関係を示す。工区 1 では、9t マカダムで 6 回締固め後 (P6) の締固め度が 94.5% であったのに対し、25t タイヤで 10 回締固め後 (P16) は 96.2% となった。また、工区 2 では、9t マカダムで 6 回締固め後 (P6) の締固め度が 92.2% であったのに対し、9t 振動タイヤで 10 回締固め後 (P16) は 96.8% となった。25t タ

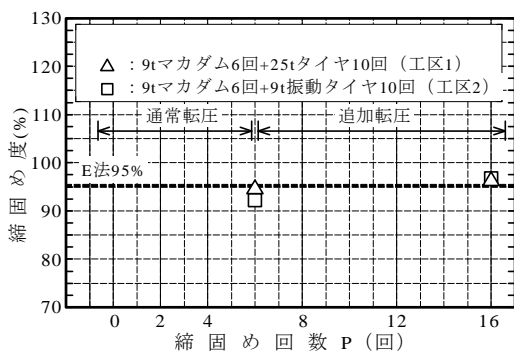


図-9 切込砕石における締固め回数と締固め度の関係 (10cm かき起こし有り, 平均含水比 2.2~2.9%)

表-7 切込砕石におけるたわみ量測定結果 (10cm かき起こし有り, 平均含水比 2.2~2.9%)

締固め回数	16	
工区	1	2
締固め機械	25t タイヤ	9t 振動タイヤ
たわみ量[mm]	1.45	1.09

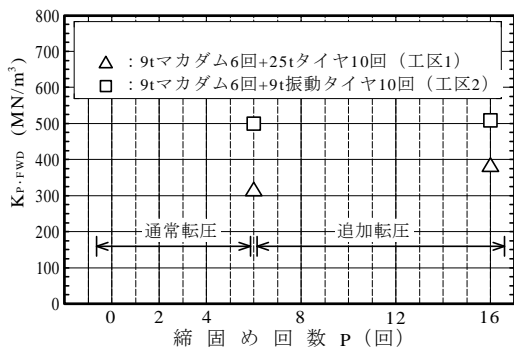


図-10 切込砕石における締固め回数と $K_{P,FWD}$ の関係 (10cm かき起こし有り, 平均含水比 2.2~2.9%)

イヤおよび 9t 振動タイヤは、10 回の締固め後 (P16) に品質管理基準を満足し、その差は締固め度 1% 未満で同等の結果であった。表-7 に、たわみ量の測定結果を示す。締固め度と同様に、両締固め機械ともに品質管理基準は十分に満たしているが、25t タイヤで締固め後のたわみ量が 1.45mm であるのに対し、9t 振動タイヤで締固め後は 1.09mm であり、9t 振動タイヤの方が良好な結果となった。

図-10 に、締固め回数と $K_{P,FWD}$ の関係を示す。25t タイヤで 10 回締固め後 (P16) の $K_{P,FWD}$ は 379MN/m^3 、9t 振動タイヤで 10 回締固め後 (P16) は 509MN/m^3 であり、9t 振動タイヤの方が大きい結果となった。しかし、9t マカダムで 6 回締固め後 (P6) の工区 1 および 2 で同様の差が生じていることから、締固め以前の初期状態が異なっていたと考えられる。その要因には、かき起こし厚、含水比および施工完了時点の地盤剛性の違いが挙げられる。現場試験では、9t 振動タイヤが 25t タイヤと同様に、締固め度およびたわみ量の品質管理基準を満たすことが確認された。

4. まとめ

舗装工の追加転圧において、9t 振動タイヤが 25t タイヤと同等かそれ以上の締固め効果を有し、かつ、品質管理基準を満足することが可能であるかを確認することを目的に室内および現場締固め試験を実施した。これらの試験から得られた結論は、以下の通りである。

- ① 舗装工の追加転圧において、9t 振動タイヤは、25t タイヤと比較して同等かそれ以上の締固め効果があり、品質管理基準を満足することが可能である。
- ② 9t 振動タイヤは、12t 振動ローラで締固め後の追加転圧に用いることで、25t タイヤと同等にたわみ量ならびに地盤剛性を増加させる効果がある。

参考文献

- 1) 東日本高速道路株式会社：土木工事共通仕様書，pp.13-2~13-6, 2012
- 2) Y. Nose・Y. Kanamori・K. Uchiyama・J. Makabe・K. Shioyama・K. Doi：Vibratory Pneumatic Tire Roller, Proceeding of the 15th International Conference of the ISTVS, September 25 to 29, 3B01, 2005
- 3) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：土工施工管理要領，pp.2-3~2-10, pp.2-42~2-43, 2012
- 4) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：舗装施工管理要領，pp.22~24.2013
- 5) 横田聖哉・益村公人・石黒健・藤山哲雄：道路路床における施工管理の合理化に関する考察- (その2) タイヤローラによる追加転圧効果-，第37回地盤工学研究発表会，pp.1325~1326, 2002