

V-7

新幹線路盤への軟岩ズリの盛土材料としての適用について

日本鉄道建設公団札幌工事事務所 正員 玉木 史郎
 正員 吉川 大三郎
 植野 功大
 髪 林 皓一

1. はじめに

軟岩ずり材料を用いた鉄道盛土においては過去の経験からスレーキングに伴う圧縮沈下、雨水の浸透と動的荷重による噴泥等が問題であり、現在でも要注意の材料として扱われている。今回、北海道新幹線のトンネル建設に際し、発生するずりを流用して盛土路盤を構築することを想定し、実際に泥岩を主体とした材料で試験盛土を構築して、締め管理結果と圧縮沈下観測結果から施工管理方法および品質管理基準を検証し、更には列車荷重を考慮した載荷試験を行って、路床の耐久性とその適用について検討した結果を報告する。

2. 施工管理と圧縮沈下

(1) 材料特性と品質管理基準

使用した盛土材料は北海道南西部の新第三紀中新生の軟岩であり、材料特性値は表-1に示すとおりである。土粒子の密度は泥岩・砂岩で2.61~2.72 g/cm³を示し、岩種による差はない。含水比は8.8~23.2%の範囲にあり、試料によって異なる値を示す。コンシステンシー試験による分類では、CL(粘質土)およびCLに近いCH(粘土)となっている。

また、浸水崩壊度では泥岩がC(稜角部が崩壊するもの)およびD(原形をとどめないもの)、砂岩がA(ほとんど変化が認められないもの)となっており物性の差は明瞭である。

X線回折試験から泥岩・砂岩ともモンモリロナイトが検出された。これは吸水膨張する性質の粘土鉱物で、泥岩の浸水崩壊度に影響しているものと考えられる。

図-1は島・今川の示したスレーキング率と破碎率の関係図¹⁾に試験データをプロットしたものであるが、圧縮性の大きいA領域から小さいC

表-1 軟岩の材料特性値

項目	泥岩1	砂岩2	混合1+2	泥岩3	泥岩4	泥岩5	
	事前調査による採取			0-1号 ダブによる採取	ツインヘッダーによる採取		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.613	2.631	2.610	2.723	2.670	2.625	
自然含水比 w_n (%)	22.1	15.6	18.0	17.0	8.8	15.8	
粒度	レキ分 2~75 μ m (%)	83	85	84	64.1	77	98
	砂分 75 μ m~2mm (%)	12	11	11	24.1	16	1
	シルト分 5~75 μ m (%)	4	3	4	8.3	4	1
	粘土分 5 μ m未満 (%)	1	1	1	3.5	3	1
	均等係数 U_c	36.6	64.9	56.7	306	92.0	4.22
曲率係数 U_c'	5.5	7.0	5.3	0.87	6.0	0.84	
コンシステンシー特性	液性限界 w_L (%)	44	35	52	38	31	55.2
	塑性限界 w_p (%)	18	19	23	20	17.5	30.3
	塑性指数 I_p	26	16	29	18	13.5	24.9
塑性図上の分類	CL	CL	CH	CL	CL	CH	
締め	試験方法	2.5 b	2.5 b	2.5 b	2.5 b	E	E
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.594	1.741	1.699	1.685	1.906	1.535
	最適含水比 w_{opr} (%)	23.4	17.7	19.6	17.8	13.1	25.6
CBR	室内試験膨張比 γ_e (%)	0.063	-0.020	0.010		0.420	0.050
	室内貫入試験後含水比 w_2 (%)	28.0	19.1	21.1		14.8	17.8
	室内CBR (%)	53.3	40.6	41.1		43.4	45.3
力学特性	一軸圧縮強さ q_u (kgf/cm ²)	55.6	96.2			271.1	39.1
	浸水崩壊度(24h)	D	A			C	D
	X線回折(モンモリロナイト)	多量	中量			中量	多量
スレーキング率 (%)	87.1	13.9	58.3		2.8	83.4	
	破碎率 (%)	39.1	29.1	32.5		22.3	29.2

The Application of Sedimentary Soft Rockfill in the Shinkansen Roadbed by Sirou TAMAKI, Daizou YOSIKAWA, Yoshihiro UENO, and Kouiti KAMIBAYASI

領域まで分布している。

品質管理は過去の軟岩の締固め度と圧縮沈下傾向から、締固め管理基準を空気間隙率 $V_a \leq 15\%$ 、平板載荷試験による地盤係数 K_{30} 値 $\geq 11\text{kgf/cm}^2$ （または $\text{CBR} \geq 10$ ）を目標とし、あわせてRIによる現位置乾燥密度 ρ_d が最大乾燥密度 $\rho_{d \max}$ の90%以上とする密度管理も併用することとした。

なお、今回使用した試験盛土材料は表-1のロードヘッダー掘削による「泥岩1と砂岩2の混合」、ツインヘッダー掘削による「泥岩3」、「泥岩5」である。

(2) 盛土の構造

盛土の構造を図-2に示す。試験盛土の形状は実物大相当の大きさとし、施工基面から3mまでの上部盛土、その下の下部盛土からなる。のり面勾配は上部盛土1:1.5、下部盛土1:1.8と上部・下部とも1:1.5の2種類とした。盛土本体の間隙水圧上昇防止のために厚さ50cmの切込砕石による排水ブランケットを設け、撒き出し厚の管理、のり面崩壊防止、のり肩付近の十分な締固めを行うために層厚30cmごと、幅2mで層厚管理材を敷設した。土羽は盛土本体と異なる植生に適する砂質土を厚50cmとし、のり面は張芝とした。また盛土各層の圧縮沈下量を把握するための層別沈下計と、のり面の変位を把握するための変位杭を設置した。

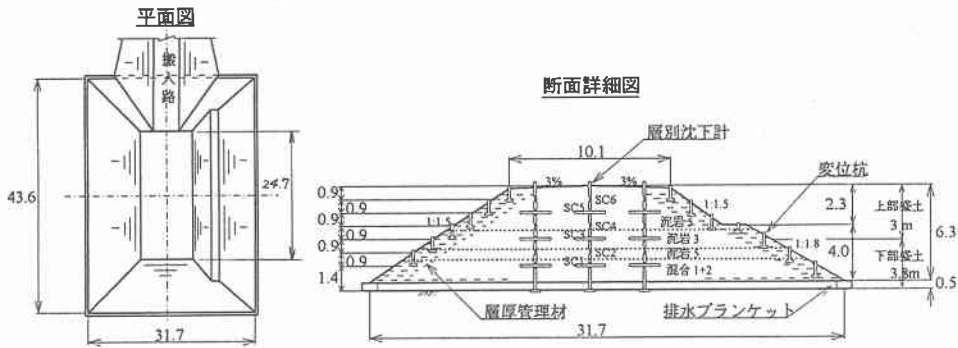


図-2 試験盛土の構造

(3) 盛土の施工管理基準

盛土を構築する前に施工管理基準を決めるため、試験施工を転圧機械8t、10t、12t級振動ローラの3種類で実施した。

試験施工の効果確認試験結果を表-2に、地表面沈下量を図-3に示す。

試験結果より転圧効果の比較を行うと次のようになる。『8t級振動ローラ』では地盤係数 K_{30} 値は少ない転圧回数で満足されるが、空気間隙率 V_a 、乾燥密度 ρ_d はかなり転圧回数を多くしなければ満足されず、管理基準値の余裕もあまり見込まれない。『10t級振動ローラ』では5~6回転圧で乾燥密度 $\rho_d = 1.6\text{t/m}^2 \geq 0.9\rho_{d \max}$ (1.52t/m^2)が期待できる。また、空気間隙率 $V_a = 10\%$ ($\leq 15\%$)、地盤係数 K_{30} 値 $= 17.5\text{kgf/cm}^2$ が満足される。8回転圧になるとヘアークラックの発生、地盤係数、乾燥密度は減少する。『12t級振動ローラ』では乾燥密度 ρ_d 、空気間隙率 V_a は10t級振動ローラによる試験結果と同程度の値を示すが、地盤係数 K_{30} 値は管理基準を下回っている。5回転圧を越えると地盤係数、乾燥密度は減少する。

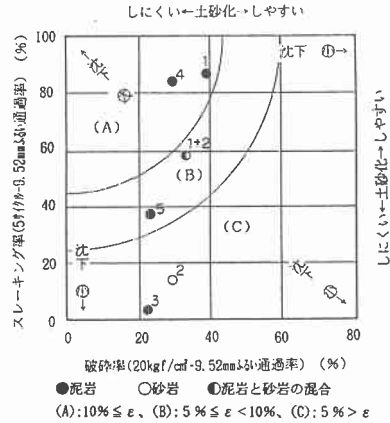


図-1 スレーピング率と破砕率の関係

表-2 試験施工の効果確認試験結果

振動ローラ	転圧回数	乾燥密度 (t/m ³)		空気間隙率 (%)		含水比 (%)		地盤係数 K ₃₀ (kgf/cm ²)
		R	I	R	I	R	I	
8 t	3	1.51	1.48	14.20	18.30	19.9	18.6	12.7
	6	1.58	1.53	10.19	15.50	20.1	18.5	14.7
	9	1.60	1.57	8.93	13.43	20.2	18.3	16.7
10 t	4	1.61	1.60	6.61	10.33	21.3	19.4	16.9
	6	1.67	1.60	4.21	11.34	20.5	18.6	17.5
	8	1.64	1.63	3.84	8.95	21.8	19.0	16.0
12 t	3	1.61	1.61	6.47	9.88	21.4	19.2	10.2
	5	1.63	1.62	4.52	8.56	22.0	19.7	10.9
	7	1.60	1.59	4.77	9.09	22.6	20.5	7.8

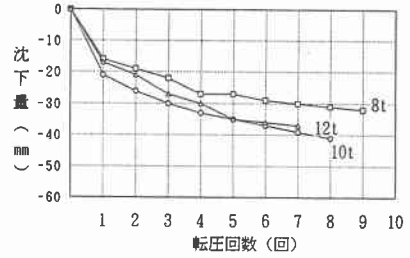


図-3 地表面沈下量

表-3 施工管理基準

締固め機械	10 t級振動ローラ 自重9.5t、起振力10.0t
転圧回数	6回 (転圧速度 V = 3 km/h)
撤き出し厚	34cm (仕上がり厚30cm)
撤き出し方法	大きな岩塊 (径30cm程度) が混入している場合、転圧前にブルドーザにより破砕する。
施工管理方法	密度試験の頻度は R I 法によりできるだけ多くする。平板載荷試験も定期的を実施する。

また、泥岩ずりの鉄道盛土工事に12 t級振動ローラを採用して良好な結果を得た実績はあるが、今回の試験材料の特徴である①岩の圧縮強度が低い。②細粒分がかなり含まれている。③10 t級振動ローラでは管理基準を満足し、余裕が見込まれる。④施工時含水比が高めの場合、12 t級振動ローラではかえって施工性の悪化 (振動数の操作、1回の転圧の重み等) が懸念される。以上の4点と振動ローラは10 t級クラスまでが汎用的であることを考慮して、施工管理基準を表-3のとおりとした。

(4) 締固め管理結果と静的圧縮沈下

今回の試験における締固め管理は、締固めた盛土が耐久性をもち、安定することが保証される空気間隙率、密度規制による方法、土の強度特性を規制する地盤係数による方法を併用する管理手法とした。

締固め管理結果の平均値を図-4に示す。

その結果、いずれの材料も空気間隙率、乾燥密度の管理基準値を満足しているが、地盤係数については、「泥岩3」に比べてスレーキング率が大きく圧縮強度が小さい「混合1+2」・「泥岩5」材料の層で、目標とした管理基準値 K₃₀ 値 ≥ 11 kgf/cm² を満足していない。さらに、地盤係数は最適含水比に対しての施工含水比が湿潤側の材料で小さく、乾燥側の材料で大きくなっている。

とくに施工含水比は降雨量との関係が強く、降雨量が多い盛土の層は最適含水比より高くなっている。

一方、施工時の観察によると転圧効果は盛土全体あるいは各層に一律でなく、部分的にわだちの跡が消えないところやオーバーコンパクションを起こすところがあり、含水比の高いと思われる層については、ばっき乾燥による含水比調整を試みたが顕著な効果が見られなかった。

層別沈下計による各層の圧縮率は、地盤係数が大きいと小さくなり、地盤係数が小さいと大きくなる傾向

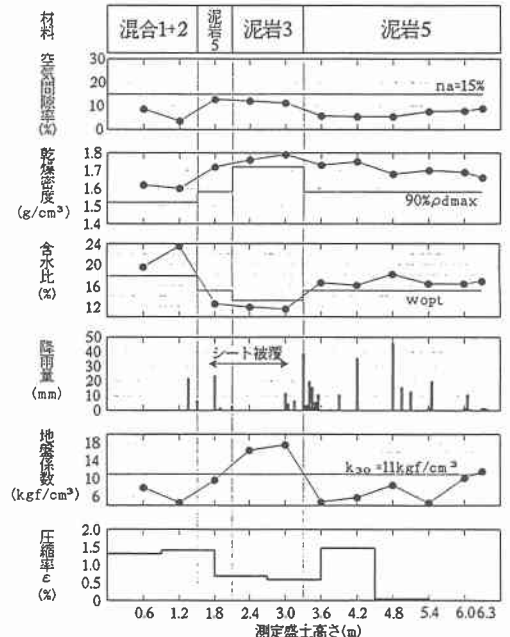


図-4 締固め管理結果

が見られ、岩の圧縮強度、破砕率、含水比が関与していると思われる。盛土の中央部層別沈下計による圧縮量の経時変化を図-5に示すが、圧縮量の合計は45mm程度で盛土終了時に全圧縮量の80%以上に達し、1週間後には全圧縮が終了し、その後は増加していない。

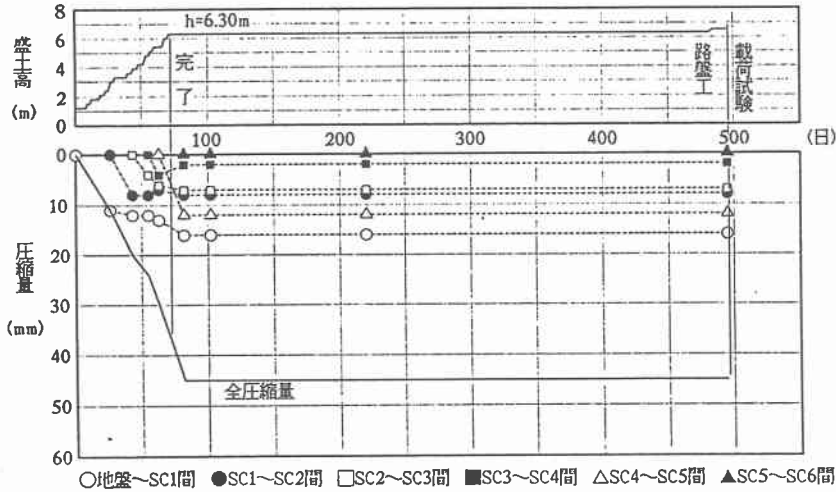


図-5 盛土の静的圧縮量経時変化

3. 動的載荷試験

(1) 測定項目と載荷方法

測定項目を表-4に示す。また、測定計器の配置を図-6に示す。動的繰り返し載荷は、試験盛土の天端中央において、写真-1に示す起振装置を用いて実施した。最大起振力は±7.5tfであり、上向きの起振力が作用した場合に1.0tfの重量が残るように自重3.1tfに加え5.4tf程度の載荷用のコンクリート版(平面寸法2.34m×1.60m)を作成し、その上に起振装置を固定して載荷を行った。したがって、載荷荷重の大きさは1.0~16.0tfである。また、コンクリート版と盛土の間には厚さ15cmの粒調碎石層を設けた。

路床での圧力は、スラブ軌道用RC路盤の設計から求められる路床圧力と以前実施した動的載荷試験の路床圧力の実績値²⁾等を参考にして、載荷圧力振幅が0.4kgf/cm²となるように載荷用コンクリート版の大きさを定め、0.03~0.43kgf/cm²と設定した。

表-3 測定項目

測定項目	測定方法	測定点
盛土層別の沈下	沈下計(クロスアーム型)	18
起振機、盛土層別の加速度	加速度計(歪ゲージ式)	6
載荷版の沈下	変位計(歪ゲージ式)	4
載荷版下の盛土沈下	変位計(歪ゲージ式)	4
路盤下の土圧	土圧計	2
盛土表面の沈下	沈下杭(マイクロレベル)	38
盛土のり面の沈下	変位杭(レベル)	13

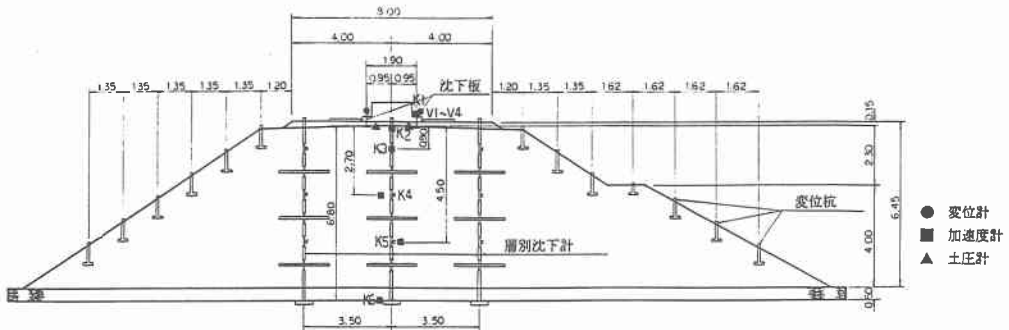


図-6 測定計器配置

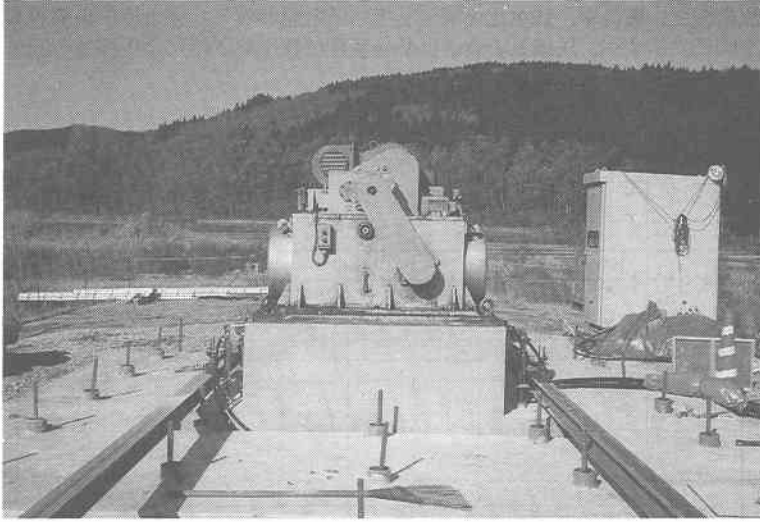


写真-1 繰返し載荷試験装置

動的繰返し載荷の振動数は、新幹線の列車速度と車軸間隔を考慮して30Hzとし、載荷回数は200万回とした。この回数は、整備新幹線の列車走行状況を推定すれば、ほぼ4～5年分の通過量に相当する。また、繰返し載荷の形態は、正弦波形である。

(2) 共振試験

繰返し載荷試験の前後に、起振力1tfとし、載荷振動数10～40Hzの範囲で共振試験を行った。

この結果、明瞭とは言えないが、載荷前では36Hz付近に、載荷後では30Hz付近に共振点が認められた。

(3) 繰返し載荷試験

路床における応答加速度及び応答加速度から算出した変位振幅と載荷回数との関係を図-7に、盛土天端に設置した沈下計により測定した累積沈下と載荷回数の関係を図-8に示す。

試験の結果、以下のことが分かった。

- ①表層付近の応答加速度と応答加速度から求めた変位振幅は、載荷回数の増加と共に小さくなり、2.7m以深は載荷回数に関係なくほぼ一定値である。
- ②深い位置の加速度計ほど応答加速度が小さくなり、その値は2.7m以深ではかなり小さい。
- ③盛土天端の沈下計による累積沈下の測定では、200万回の載荷後に13～16mmの沈下が生じた。
- ④盛土中の層別沈下計による測定においては、中央の深さ0.9mの位置のクロスアームSC6にのみ10mm程度の累積沈下が認められたが、その他のクロスアームには沈下が認められなかった。

以上のことから動的荷重による影響は、盛土の表層付近に集中しており、特に沈下は極浅い部分に生じていると考えられる。

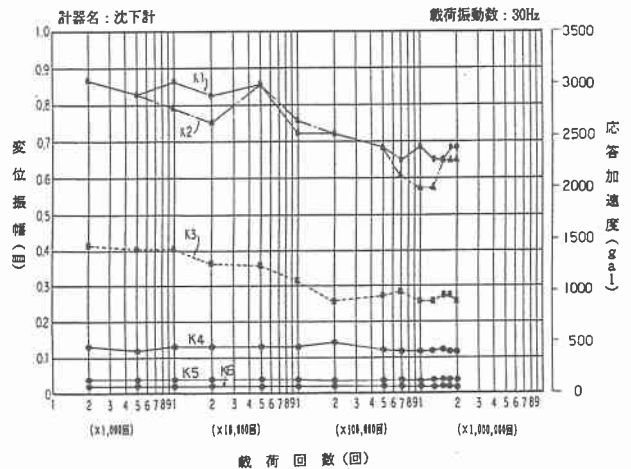


図-7 応答加速度、変位振幅

4. まとめ

今回の試験により、土の締固めにおいては最適含水比ないしその湿潤側の含水比で行うのが一般的であるが、軟岩の種類によっては今回のように湿潤側では土の強度・変形抵抗特性が、小さくなることがある。

盛土完成1週間後、全圧縮が終了し安定していることを考えれば、列車荷重の直接作用する路床を除いて、砂質土系と同様な強度規制方式を併用することには問題があると思われる。

今回の軟岩材料を使用した高さ6m程度の盛土において、今回の管理基準はその妥当性が認められ、かつ締固め管理方法は空気間隙率、密度管理規制によれば充分であることが判明した。

なお、盛土表層においてある程度動的荷重により沈下が進行するものの、盛土

全体としての軟岩の適用については特に問題はないと考えられる。ただし、許容沈下量の小さいスラブ軌道等においては、盛土表層付近での適用について、従来³⁾の表層3mの制限（上部盛土として望ましい材料）は大きいと思われるが、表層付近1.5m程度の使用の制限は必要と考えられる。

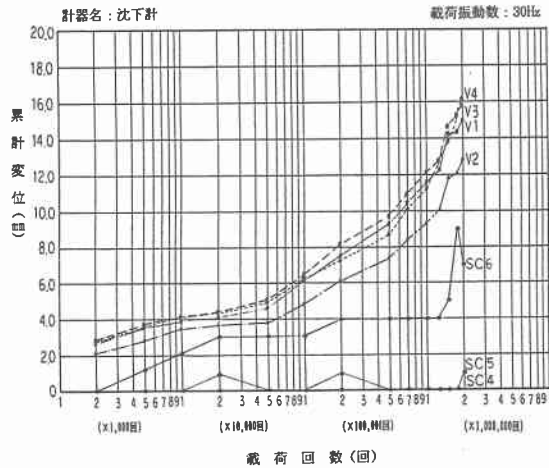


図-8 累積沈下

参考文献

- 1) 島・今川：スレーキング材料（ぜい弱岩）の圧縮沈下と対応策、土と基礎、vol.28, No.7, 1980.7
- 2) 米澤・鬼頭・青木・丸山・斎藤：スラブ軌道用RC路盤の開発（その3）、第28回土質工学研究発表会、pp. 2387~2388, 1993.6
- 3) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物、平成4年10月、pp. 31~32