

第71回

道床バラストの石質試験

はじめに

道床とは、まくらぎと路盤の間およびまくらぎ周囲に用いられる砂利、碎石などの粒状体により構成される軌道構造の一部分です(図1)¹⁾。そこに用いられる碎石を道床バラスト(道床碎石)とよびます。明治5年(1872年)の鉄道創業時には砂利が使用されていたようですが、現在ではほとんどが碎石といわれる、岩塊を機械で破碎した20mm~60mm大の硬い石が用いられています。この道床バラストは、まくらぎやレールを支持し、列車荷重を路盤に均等に分散させる機能が求められる重要なものです。そのため、多くの鉄道事業者では石質試験とよばれている試験で一定の品質を有すると認め

られたものを使うように決めています。ここでは、その品質(石質とよんでいきます)の基準とそれを確認するための石質試験の変遷を紹介します。

道床バラストに求められる役割と品質基準の必要性

道床バラストは気温の変化や風雨の影響を受けるため、風化に対する耐久性が求められます。また、繰り返して列車荷重を受けることから摩耗や破損に対する耐久性が求められます。さらに、バラスト軌道は日々の軌道保守を前提としたものであるため、突き固め時などの保守の作業性を確保することも求められます。これらの要求される性能から、①材質が堅固であること、

②適当な粒度組成を有することなどの条件が必要となってきます。また、年間使用量が多いため、価格が廉価で入手しやすいことも条件の一つです。

しかし、地質の変化に富む我が国においては、常に良好で均質なバラストを得ることは難しく、同一の原石山でも採取箇所により岩石の種類や品質(物理的性質)が異なることがあります。そのため、JR各社ほかの鉄道事業者では、国鉄時代に決められた「道床バラスト製作積込工事標準示方書」(1975年)とその後の改訂などを経た試験項目と基準を踏襲して用いています。

現行の石質試験

多くの方にとって、石質試験はあまりなじみがないものと思いますので、最初に現行の石質試験について解説した後に、「石質試験の変遷」の章で現行の石質試験に至る変遷を述べます。

現行の石質試験は、前述のように昭和50年(1975年)に制定された「道床バラスト製作積込工事標準示方書」によって規定されたものをおおむね踏襲しており、昭和58年(1983年)に「要特認」といわれる基準値の一部引き上

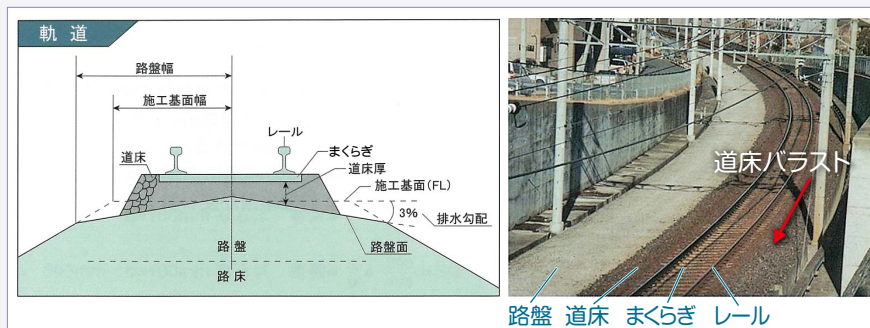


図1 バラスト軌道と道床バラスト¹⁾

表1 現行のバラストの品質基準

1) 粒度(参考値)						2) 物理的性質								
ふるいの呼び寸法(mm)	標準網ふるいを通るものの重量百分率					項目判定	単位容積質量($\times 10^3 \text{kg/m}^3$)	吸水率(%)	摩損率(%)	硬度	吸水耐圧強度(MPa)	圧縮粉砕率(%)	形状(%)	
	63.0	53.0	37.5	26.5	19.0								細長さ	偏平度
合格	100	100~80	75~35	40~0	5~0	合格	$1.40 \leq$	$3.0 \geq$	$27.0 \geq$ $35.0 \geq$	$17.0 \leq$	$80 \leq$	$24.0 \geq$ $30.0 \geq$	$60 \geq$	$45 \geq$
						要特認								

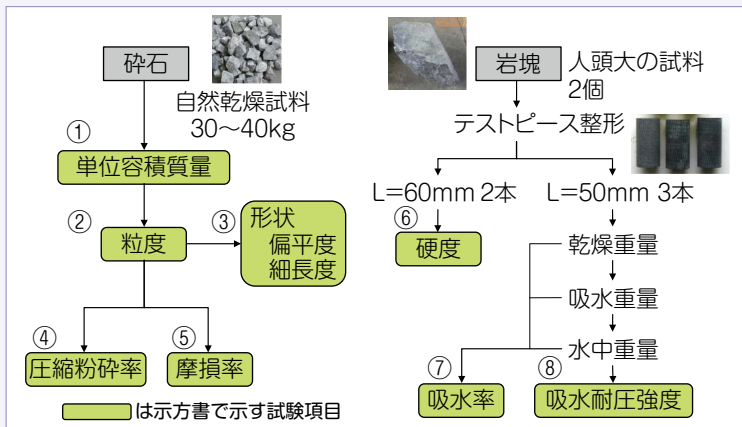


図2 現行の石質試験の流れ

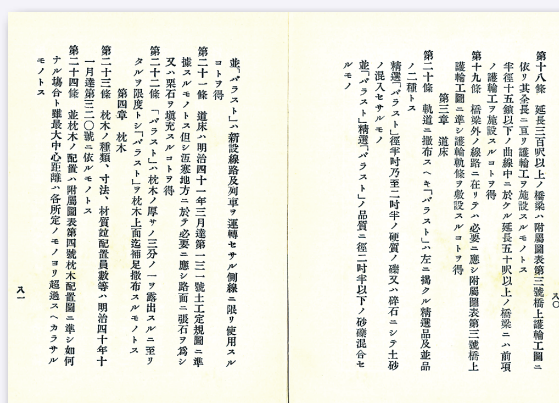


図3 明治45年(1912年)の「軌道整備規程」第3章第20条～第22条³⁾

げなどの改訂，平成3年（1991年）に「形状」に関する基準の追加，また平成19年（2007年）にSI単位系への移行を行い，現在のものとなっています。現行の石質基準を表1に示し，これらの値を求めるための石質試験の目的と方法を簡単に述べます。試験は砕石を用いる試験と岩塊を用いる試験の2つに分かれます（図2参照）。一つ目は，実際に線路に敷くのと同一粒度分布のバラストを用いて，バラストの集合体としての品質を調べる試験です。もう一つは，バラストに用いる原岩の性質を調べるために，テストピースを作成して行う試験です。詳しくは，「鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造」²⁾を参照してください。

- ①単位容積質量：所定の粒度のバラストが十分な重量を有しているかを評価する試験で，一定の大きさの容器に密に砕石を詰めたとときの質量から求めます。
- ②粒度：網ふるいを用いて，砕石の粒度分布が所定の範囲に入っていることを確認します。
- ③形状：扁平や細長のバラストが多い場合には道床沈下などの悪影響を生じるので，このようなバラストが多量に混入しないよう，専用のゲージを用いて砕石一個一個の形状を調べて，バラスト全体の形状を評価する試験です。

- ④圧縮粉碎率：バラスト同士またはバラストとまくらぎとの押し合いに対する強さを評価する試験で，静的に荷重をかけた前後の粒度の変化を調べる試験です。
- ⑤摩損率：バラスト同士またはバラストとまくらぎとのたたき合いに対する強さを評価する試験で，ロサンジェルス試験機を使用します。
- ⑥硬度：バラスト同士のこすり合いに対する強さを評価する試験で，ドリリーの硬度試験機を使用します。
- ⑦吸水率：吸水しやすいバラストは劣化しやすいことから吸水の度合いを評価する試験で，72時間吸水させた時の吸水率を求める試験です。
- ⑧吸水耐圧強度：石の一軸圧縮強さから，原石としてどの程度硬質な石が得られるかを評価する試験です。一般の岩石やコンクリートの試験に関する規格とは異なり，72時間吸水させたテストピースを用います。吸水した岩石は乾燥した岩石よりも2～3割程度低い強度を示すため，吸水状態下に置かれるバラストの特殊環境を考慮したものです。

石質試験の変遷

ここでは，現行の品質基準に至るまでのバラストの仕様の変遷を鉄道創業時から順に概説します。

明治5年（1872年）の鉄道創業時には主として砂利が使われていたようです。規格はそれぞれの区所でまちまちであったようで，統一した規格はありませんでした。明治7年（1874年）神戸－大阪間では建設時には砂が使われたようですが，のちに砂利に交換されました。

明治39年（1906年）に鉄道国有法が発布され，翌明治40年（1907年）に私設鉄道17社が国有鉄道化されました。この際，線路構造や規格は統一されおらず，線路の状態もさまざまであったため，それらを統一するために規程類の整備が行われ，道床バラストの品質も定められました。この時の規格は，「硬質のれきまたは砕石を用いて，粒度は2.5inch（63.5mm）のふるい目を通り，1inch（25.4mm）のふるい目で止まる，土砂が混入していないもの」（「精選品」とよばれていました。）の一種類のみでした。その後，明治45年（1912年）の「軌道整備規程」で，線区のグレードに応じた，「精選バラスト」と「並バラスト」の2種類の品質が定められました（図3）³⁾。精選バラストは径0.5～2.5inch（12.7～63.5mm）の硬質な礫または砕石で，土砂が混入していないものと決められ，並バラストは先の精選品に径2.5inch（63.5mm）以下の砂礫を混合したものとされていました。また，並バラストは新設線路および列車を運転しない側線に限り使用できるとされてい

ました。このことについて、大正7年(1918年)に木村芳人が記した「鐵道保線業務」⁴⁾の中では、新設線路では道床が直ちに沈下するので比較的価格の安い並バラストを用い、沈下するに従って精選バラストを補充するといったことが示されています。

その後、実軌道でのバラストの品質と軌道変位、保守のしやすさなどの関係についての試験が行われ、それらの試験結果を踏まえて、昭和7年(1932年)に「道床バラスト仕様」が「軌道整備心得」とあわせて制定されました。バラストは、1等品(碎石、鉦滓、ふるい砂利)、2等品(並砂利、鉦滓)、3等品(砂、石炭殻)に分けられています。この仕様では、それまでと同様に粒度は定量的に規定され、加えて使用する材料の種類、碎石であれば原石となる岩石の種類でバラストの強度を規定していました。粒度は、1等品は65mm角のふるい目を通過して15mm角のふるい目に止まるもの、2等品は75mm角以下の砂礫、とされていました。また、各等級とも、塵芥その他の雑物が混入していないものとされていました。使用する材料は、①碎石に使用する原石は花崗岩、安山岩、硬質な砂岩などの硬質で風化に強く、割れ目の少ないもの、②鉦滓は暗灰色で硬質、緻密な塊滓を破碎したもの、とされて

いました。この仕様の制定された直後に出版された齋藤朴(1932)の「鐵道工學上巻」⁵⁾では、道床の要件を満たすために石質を厳格に規定することの必要性が述べられています。図4と図5に、大正時代後半に建設された線路の様子を示します⁶⁾⁷⁾。

その後、第2次大戦中に戦時規格で粒度の緩和(1等品：碎石、鉦滓の最大径を80mm、ふるい砂利の最大径を75mm、2等品：並砂利および鉦滓の最大径を80mm)と豆碎石(1種：粒径5mm~15mm、2種：粒径5mm~10mm)の追加が行われました。

戦後、米国駐留軍の民間運輸局(CTS: Civil Transportation Section)の要請により保線合理化委員会に碎石委員会が設けられ、試験設備の改良、碎石の品質について検討が行われました。当時の国鉄東京鉄道管理局、同仙台鉄道管理局管内での碎石の試験結果、従来の仕様ならびにAREA(American Railway Engineering Association)の仕様(1944)を参考に、昭和24年(1949年)に「道床用碎石、鉦さいおよび敷込用豆碎石示方書」が制定されました。この示方書で、初めて物理的性質が定量的に規定されました。当時の物理的性質に関する試験項目としては、単位容積重量、吸水率、摩損率、硬度、じん性、耐圧強度、安息角がありました。その

後、昭和25年(1950年)に最大粒径が80mmから70mmに改正されました。昭和29年(1954年)に「道床バラスト及び敷込バラスト仕様書」が制定されました⁸⁾。この仕様書での碎石の粒度および物理的性質の基準を表2に示し、以下で試験方法の概略を述べます⁸⁾。

- 粒度：現在とほぼ同じですが、板ふるいを使用していました。
- 単位容積重量：現行と同じです。
- 吸水率：方法は現行と同じですが、試料は約20gの碎石を使用していました。
- 摩損率：現在はロサンゼルス試験機を使っていますが、当時はデバル(ダブル)摩損試験機を使用していました。
- 硬度：現行の試験方法とほぼ同じですが、試料は現行よりもやや長い、直径25mm、長さ100mmのものを使用していました。
- じん性：道床のつき固め時の衝撃に対する抵抗性の指標として設けられていました。この試験は、重量50kgの鉄床の上に直径25mm、高さ25mmの乾燥した試料を置き、重量2kgの鉄ついを落下させて破碎するときの高さを測るものです。
- 耐圧強度：直径25mm、長さ25mmの乾燥した試料を使用し、一軸圧縮試験を行っていました。
- 安息角：碎石などの形状を間接的に評価するための項目で、稜角に富



図4 日豊南線富高停車場(現、日豊本線日向市駅)⁶⁾
バラストの粒径が現在よりもやや大きい。



図5 手塩線温内隧道東口⁷⁾
まくら木周辺のバラストには細粒分が多い。

表2 昭和29年(1954年)当時のバラストの品質基準

1) 粒度(参考値)										
種類	品名	ふるいを通す量(重量%)								
		80mm	70mm	60mm	40mm	20mm	15mm	10mm	7mm	5mm
道床 バラスト	砕石、鉱さい、 ふるい砂利		100	80~100	25~60	3~10		0~3		0
	並砂利	100	85~100	50~100	10~100	0~80		0~70		
敷込 バラスト	豆砂利、豆砕石						100	30~90	10~50	0

2) 物理的性質								
種類	品名	単位容積重量 (t/m ³)	吸水率 (%)	摩損率 (%)	硬度	じん性 (cm)	耐圧強度 (t/cm ²)	安息角 (tan)
道床 バラスト	1級品 砕石、鉱さい	1.4以上	0~3	0~5	17以上	10以上	0.8以上	1.4以上
	2級品 砕石、鉱さい	1.1~1.4	3~5	5~10	14以上	5~10	0.4~0.8	1.2~1.4
	2等品 ふるい砂利	1.4以上		0~5				
	3等品 並砂利	1.1以上		10以下				
敷込 バラスト	豆砕石	2.0以上	0~3	0~5	17以上	10以上	0.8以上	1.4以上
	豆砂利	2.0以上		0~5				

む砕石は安息角が大きいことから設けられました。試験方法は、乾燥した試料約30kgを、幅200mm、長さ200mm、高さ450mmの容器に入れ、振動を与えることなく、1つの側壁を上から400mm抜き取ります。その際に崩れた試料の安息角を計り、正切をもって安息角としました。

この仕様の制定前後、当時の鉄道技術研究所において石質試験をはじめとする岩石試験の結果が精力的にまとめられ、以降の石質試験の改訂の基礎資料となりました⁹⁾。それらの結果により、昭和29年(1954年)の「道床バラスト及び敷込バラスト仕様書」を見直し、昭和50年(1975年)に「道床バラスト製作積込工事標準示方書」が制定されました。先にも述べましたように、現在の石質基準、石質試験はこの示方書におおむね基づいています。この時の見直しによって、①当時の軌道構造に関する規定との整合性をとるために、使用する材料を砕石と豆砂利のみとした、②従前の試験項目の簡素化、他分野の試験方法との共通化、道床全体として評価できる試験項目の追加など、試験方法の変更が行われました¹⁰⁾。また、道床バラストとしての品質は、石質以外に砕石方法やふるい分けの仕方などの製作工程、貯留や積み込みの仕方などの運搬工程の影響を受けます。そのため、製作や積み込む際の方法も標準として示されています。当時、バラストの品質を確保するうえで、製作、運搬工程とバラストとしての品質の関係も精力的に研究されていました¹¹⁾。たとえば、良好なバラストを得るには最終工程でインパクトクラッシャーを用いるのがよいことなどを明らかにしています¹²⁾。これらの成果を受けて、先に述べた昭和50年に制定された示方書は、昭和58年(1983年)に品質管理の強化を目的として改訂され、さら

に昭和59年(1984年)に「道床バラスト品質管理の手引き—より良い道床バラストを得るために—」が当時の国鉄施設局保線課から発行されました¹³⁾。

おわりに

バラスト軌道は常日頃の保守を前提としていますが、敷設が容易で建設費が安く、軌道変位の整正を容易に行えるのもっとも普及している軌道構造です。また、災害時の復旧性が高いことも長所の一つといえます。近年、保守のしやすさからスラブ軌道などの直結系軌道が多くなってきていますが、今後もバラスト軌道の重要性は変わらないと思われれます。道床バラストは、このようなバラスト軌道を支える重要な材料であり、今までの経験、試験結果の蓄積を踏まえた原石の採取から始まる品質管理を経て現場で使用されています。今後、環境問題や経済性などの観点から古いバラストの再利用や人工材料から成る砕石の開発が従来にまして必要となってくるかもしれません。また、車両の重さや軌道の整備方法などバラストが使用される条件が変わってきていますので、将来的には品質管理の方法や石質基準を再検討する必要がある可能性が考

えられます。その時のために、今後も石質試験の結果の蓄積、試験方法などの検討や品質管理についての勉強を継続していく必要があると感じています。

(川越健/防災技術研究部 地質研究室)

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所鉄道技術推進センター・日本鉄道施設協会：わかりやすい鉄道技術 [鉄道概論・土木編]，p.14，鉄道総合技術研究所，2013
- 2) 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，丸善出版，2012
- 3) 西部鐵道管理局工務課編纂：保線従事員提要，1912
- 4) 木村芳人：鐵道保線業務，鐵道講習會，1918
- 5) 齋藤朴：鐵道工學上巻(第四版)，シビル社，1941
- 6) 鐵道省宮崎建設事務所：日豊南線建設工事一覽，鐵道省，1922
- 7) 鐵道省北海道建設事務所，手塚線・土幌線建設概要，鐵道省，1926
- 8) 宮崎政三，高橋彦治，飯塚全：道床バラストの石質基準について，鐵道技術研究所速報，No.65-30，1965
- 9) たとえば，飯塚全，高木盛男：道床砕石の規格試験成績の総括—昭和30年~昭和43年—，鐵道技術研究報告，No.660(施設編第283号)，1968
- 10) 大島洋志，中林好範：道床バラストの石質基準および試験法の改正に関する研究—附：道床バラスト仕様にもとづく過去20年の成績—，鐵道技術研究所速報，No.75-154，1975
- 11) たとえば，大島洋志，樋口岩雄，中林好範：道床バラストの劣化・細粒化と品質管理，鐵道技術研究所速報，No.78-82，1978
- 12) 大島洋志，樋口岩雄：破碎方式が道床バラストの物性に与える効果，鐵道技術研究所速報，No.79-122，1979
- 13) 鐵道施設技術発達史編纂委員会編：鐵道施設技術発達史，pp.676-679(大島洋志執筆担当)，日本鉄道施設協会，1994