

鉄道の路盤について

にし
西
い
伊き
亀
とう
東たつ
達
たか
孝お
夫*
ゆき**
之**

1. ま え が き

鉄道路盤には軌道の健全な機能を阻害する噴泥、過大の保守労力を必要とする沈下などの問題がある。昭和30年に行なわれた全国不良路盤調査により、噴泥の実態、原因がある程度究明され、39年に開業した東海道新幹線でも噴泥の調査が行なわれた。また沈下についても上記の不良路盤調査において研究が行なわれた。それらの研究結果はその後の新設路盤構築における設計施工指針の基礎となった。一方、従来の鉄道軌道のイメージを刷新させる新軌道構造の研究が行なわれ、まくら(枕)木、道床バラストに変わって、スラブ、アスファルト舗装によるスラブ軌道が開発され、高架橋やトンネルなどのコンクリート床上に敷設されるスラブ軌道については、すでに実用化の段階に入り、路盤上スラブ軌道も試験敷設されるに至った。

ここでは噴泥、沈下に対する現在の考え方を述べ、東海道、山陽両新幹線の路盤構築基準および路盤上スラブ軌道について述べることにする。

2. 噴 泥

鉄道線路は一般に図-1に示す断面よりなり、路盤とは狭義には道床と接する面から深さ300mmの部分というが、広義には盛土の場合、軌道を支承する盛土本体全部ということもある。鉄道線路に噴泥という現象がある。噴泥が起こると道床および路盤の支持力が低下し、軌道の持つ弾性が無くなり、軌道狂いを進行させ、そのため保守労力を増加させ、時には徐行を余儀なくさせ、重大な事故の原因にもなるものである。30年に行なわれた全国不良路盤調査は噴泥防止の解明を与えたが、39年に開業した東海道新幹線においても噴泥が発生したので昭和41年路盤委員会

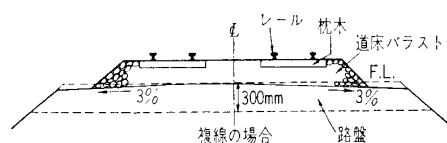


図-1 有道床軌道断面図

* 工博 国鉄鉄道技術研究所所長

** 国鉄鉄道技術研究所土質研究室

が設けられ、高速鉄道における噴泥の検討が行なわれた。

2.1 噴泥の原因

噴泥とは道床内の微粉体や路盤を構成する土粒子が列車荷重の影響により道床間ゲキ内を上昇して道床を汚染する現象、あるいはこの汚染する物質をいい、この上昇を媒介するのは道床や路盤に含まれる水分の運動である。噴泥は一般に道床噴泥と路盤噴泥とに分類される。道床噴泥は道床自身の破碎による粉末、施工時に道床に含まれていた粘性土、外部から風などによって持込まれるじんあいや、レールの削りくずなどが道床粒の間ゲキに充満して不透水層をつくり、そのために地表水が道床内、とくにまくら木下面付近に滞留して噴泥する場合である。この場合の噴泥はきわめて表面的な現象であって、噴泥は主としてまくら木周辺に噴出する。

これに対して路盤噴泥は地表水または地下水により軟化した路盤の土が道床の間ゲキを上昇するものである。土質工学的に問題なのはこの路盤噴泥である。この発生原因は路盤の土質、路盤および道床の排水状態、列車荷重の大小、通過トン数(年間の通過量)および列車速度に関係があると思われる。噴泥の発生機構は今のところ十分には解明されていないが、大体つぎのように考えられている。不良な路盤材料が地表水または地下水により、含水量が多くなり軟弱化し、そのセン断強さが低下するために、時には道床粒が容易に路盤中にめり込み、ウォーターポケットを形成し、これが列車の繰返し荷重により加圧、減圧のいわゆるポンプ作用を受け、路盤表面がこね返されて道床の間ゲキ中を上昇し、道床表面に噴出する。繰返し荷重の作用が終わると噴泥の大部分が再び道床内へ吸い込まれるという経過を繰返す。

2.2 噴泥しにくい土質

前述した全国不良路盤調査結果から噴泥しにくい土、噴泥しやすい土は土の粒度曲線とコンシステンシーから決められることがわかった。すなわち、わが国の気象条件で在来線の一般的な状態において噴泥させないためには、土はつぎの4条件を同時に満たさなければならない。

- ① $P_{0.42} < 70\%$
- ② $r < 0.65$
- ③ $w_L < 35\%$

④ $I_p < 9\%$

ただし P_a : a mm フリーの通過百分率

r : $P_{0.074}$ と $P_{0.42}$ の通過百分率の比

w_L , I_p : 液性限界, 塑性指数

そこで路盤の新設や、噴泥区間の土質置換にあたっては上記4条件を満たす土が使用されるようになったが、東海道新幹線の建設では、4.1 で後述するように、良質の土が大量に得難いことやその他種々の理由から、上記条件をかなり緩和した路盤構築基準が作成され実施された。ただし良質の土が比較的得やすかった名古屋幹線工事局管内だけは特別の規定を作って、上記4条件がほぼ達成できるようにした。

このようにして東海道新幹線は昭和39年10月開業したが、翌40年3月ころから一部に噴泥が発生し始め、その延長は最終的には165 km 程度にも及びそうに思われた。またその中には通常の噴泥のほかに、コンクリート高架橋上の噴泥など、在来線では見られなかった噴泥も発生したので、昭和41年本社内に路盤委員会を設置して高速運転における噴泥の研究を行なった。その結果、図-2に示すように、土工区間における噴泥発生率はとくに厳しい規制を行なった地区と一般の規定に従った地区との間にはかなりはっきりした差があることがわかった。また東海道新幹線で噴泥区間の路盤土の土質試験の結果は図-3のとおりで、前記4条件のうち③、④についてはその妥当性が証明されたが、①、②については図-4に示すようにその条件としての表現法に一考を要することがわかった。しかしこの4項目をとくに大きく修正すべきデータは得られなかった。なお、噴泥に関係深い荷重条件の新幹線と在来線との比較は表-1のと

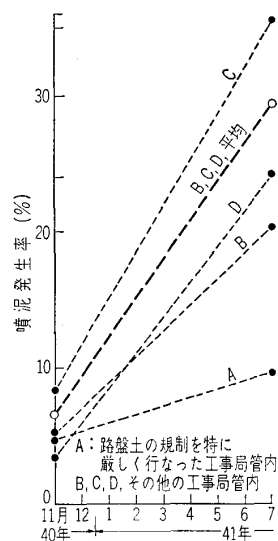


図-2 東海道新幹線噴泥発生率 (噴泥発生延長×100) 土工区間延長の推移

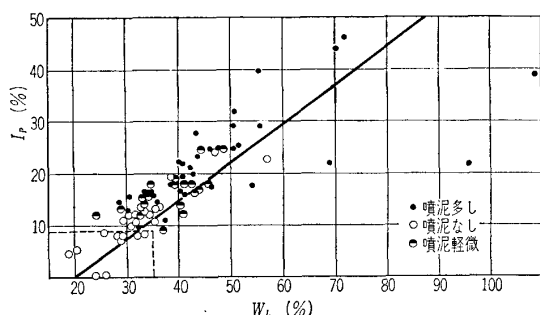


図-3 土の塑性図上の位置と噴泥の程度 (東海道新幹線)

表-1 荷重条件の比較

	新 幹 線	在 来 線
軸 重	15 t	動力車 14 t 電 車 8 t 貨 車 13 t
速 度	210 km/h	80 km/h
道 床 厚	300 mm	250 mm
通 過 ト ン 数	約 2,500万 t/年	東海道 約 5,000万 t/年

おりである。

東海道新幹線における経験から、上記委員会の報告に従って、山陽新幹線の路盤に関する規程は新しく作成された。その詳細は4.2で述べることにする。

2.3 水の存在

水の存在が噴泥に重要な関係を持つことは、噴泥が両切り取りの区間、地下水位の高い所で多いことでもうなずける。土が水を多く含むと土は強さを低下させ、道床バラストがめり込みやすく、またポンプ作用によって汲み上げられやすくなる。東海道新幹線の噴泥調査で均等粒径の砂で置換えた路盤が、排水状態が悪いために噴砂現象を起こしていたが、これはそのことをよく示している。路盤土が道床のめり込みによって破壊されないための含水量についてはその土の室内 CBR 試験において、CBR と含水比の関係から想定することができるが、路盤土の含水比が所要 CBR (在来線 7%, 東海道新幹線 10%) に対する含水比を越した場合、その噴泥と時間との関係はいまのところわかっていない。

2.4 荷重状態

噴泥がレール継目部に多いこと、同一土質でも道床厚が少なかったために噴泥が生じていたことから荷重の大きさも噴泥の一因とみなされる。しかしまた道床厚が小さくても土が比較的良いところで噴泥が生じていない例もあり、荷重強度のわずかな差は路盤の土質や、水の存在ほど重大な影響があるとは思われない。また噴泥の現象は列車の通過する時のポンプ作用によって起こるものであるから、列車通過のひん度も大いに関係あると考えられる。しかしながら、通過トン数と路盤材料の関係、通過トン数と路盤強度の関係はいまだ、データも少なく結論が出ていない。その他東海道新幹線が在来線に比べて初期に噴泥が多発していることから、速度も噴泥と関係があるようだが、これは衝撃力の問題かと思われる。東海道新幹線の噴泥個所で、速度の変化による間ゲキ水圧、路盤圧力の測定もしたが、おのおのの最高値は速度に影響しないという結果が出ていて、いまだデータ数も少なく結論は出ていない。

2.5 路盤土としての条件

路盤土に適した土の性質は2.2で述べた4項目の条件か

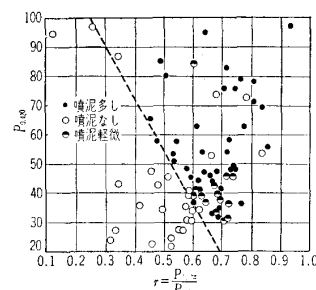


図-4 $P_{0.420}-r$ と噴泥の程度 (東海道新幹線)

ら類推されるが、路盤としては、振動や流水に対して安定であることおよび列車荷重を支えるに十分な強度を発揮し、下層に荷重を均等に分散させることがたいせつである。振動や流水に対して安定であるためには路盤材料に結合材としてある程度の 74μ 以下の粒子を含むほうがよいと考えられる。東海道本線のある区間において昭和36年1年間の軌道狂い量、とくに高低狂い量を調べた結果、シルト、粘土含有率が20~30%のときが一番高低狂い量が少ないことがわかった。また砂とシルト、粘土の混合土中の粘土含有量と最大乾燥密度の関係を試験してみると一般に図-5に示す関係となり、粘土含有量20~30%のときが一番大きな最大乾燥密度が得られることから細粒分は少なくとも10%以上は含ませるべきではないかと思われる。すなわち

$$P_{0.074} > 10\%$$

となる。

つぎに路盤の強度であるが、実測によると路盤表面に作用する鉛直方向の最大路盤圧力は粗粒土で $0.5 \sim 1.2 \text{ kg/cm}^2$ 、細粒土で $0.2 \sim 0.4 \text{ kg/cm}^2$ で相当大きな圧力が生じている。従来は路盤表面の支持力を現場 CBR 試験の値で規制したが、これは従来から路盤表面における現場 CBR の実測値が多く、噴泥の有無や程度との関連がかなり追求されていたこと、噴泥の初因である道床粒のめり込みが現場 CBR

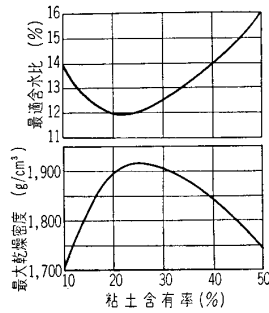


図-5 砂と細粒土の混合割合による最大乾燥密度

試験と類似していることなどかなり有意性があると思われるからであるが、一方試験を実施する時期の規定が困難で気象条件によって測定値が大幅に変化する可能性があることなどの欠点がある。そこで後述する沈下の問題と関連して、路盤材料の選択と同時にその締固め度の目標値を与えることにより、路盤の所要の強度を得る方法が採用されるようになった。路盤が所要の強度を有し、施工後も安定した状態におくためには、路盤土に良質材料を用い、十分な転圧により密実な構造にする必要があるが、施工時の含水比によっては施工後の浸水によりいちじるしく強度低下をきたすので、施工時の含水比は所要の強度と締固め度を満たす範囲内でその締固めエネルギーで最大乾燥密度を与える最適含水比付近またはそれより湿潤側に調節する必要がある。

2.6 噴泥対策

ここではすでに開業している区間で噴泥が生じた場合、どのように対処したらよいかを述べる。噴泥が生じたらまず第一にその原因を調査することが必要である。噴泥の主な原因は前述のように、土質不良、水の存在、荷重状態であるから、これらの主因の除去あるいは軽減を目標として現場の実情に合わせて、総合的見地から対策を立てなければならない。それらの対策工法を主因子別に記すと表-2に示すとおりである。この内よく採用されている、2、3の工法例を概説する。

2.6.1 路盤面被覆工法 (図-6 参照)

新幹線でよく実施しているものにクロロプレンをアスファルトコンクリートではさみ路盤表層面を被覆する工法がある。作業順序は、①施行延長にわたって道床を撤去する。

表-2 噴泥防止工法例

噴泥因子	原因の排除	工法の目的	工法例	適要
水	I 路盤に水を入れない	1. 路盤表面を防水層でおおう	(1) 路盤面被覆工法 (2) 薬液注入(撒布)工法	盛土、地下水の比較的低い切り取り区間 (1)はいちじるしい噴泥区間 (2)は軽微な噴泥区間
		2. 地下水位を下げる 3. 地表水の流入をシャ断する	(3) 側こう掘り下げ工法	地下水位が高い区間
			(4) センタードレーン工法	地下水位が高い区間
	II 線路の排水をよくする	1. 地下排水をよくする	(5) 切窓工法 (6) 垂直砂グイ工法	側こうに集中できないため線路内に滞水している区間 比較的低いところに圧力水をもたない砂レキ層がある所
		2. 路盤表層の排水をよくする	(7) 排水管理設工法 (8) 簡易排水管理設工法 (9) 盲溝工法	盛土区間および地下水位が比較的低い切り取り区間で地下水が噴泥に関係していない区間 初期的噴泥、軽微な噴泥区間
		3. 道床の排水をよくする	(10) 道床更換	道床の排水の悪い区間
土	III 土質を良くする	1. 排水のよい土または噴泥しがたい土を用いる	(11) 路盤置換工法	切り取り区間などで地下水位高く地下水が噴泥に関係している区間
		2. 安定処理を行なう	(12) 焼結工法 (13) 路盤安定処理工法	ボーリング可能な区間で土質不良区間
		3. バラスト路盤へのめり込みを防ぐ	(14) メッシュ工法	盛土区間、地下水の低い切り取り区間で軽微な噴泥区間
			(15) 道床厚増加工法	比較的高度の噴泥区間で 10cm 以上の線路こう上可能な区間
荷重	IV 路盤に作用する荷重を小さくする	1. 荷重を分散させる		

No. 677

②必要に応じて路盤面をすき取り，すき取り面は3%のコー配をもった平面に仕上げる。③仕上げた路盤面に厚さ3 cm の下層アスファルトを敷きならしてよく締め固める。アスファルトは砂 1,700 kg に対してカチオン系アスファルト乳剤 150 kg，高炉セメント-B 43 kg を混合したものである。④下層アスファルトの上にクロプロレンを敷く。クロプロレンは幅 4.5 m，厚さ 1 mm のゴム質の膜で引張

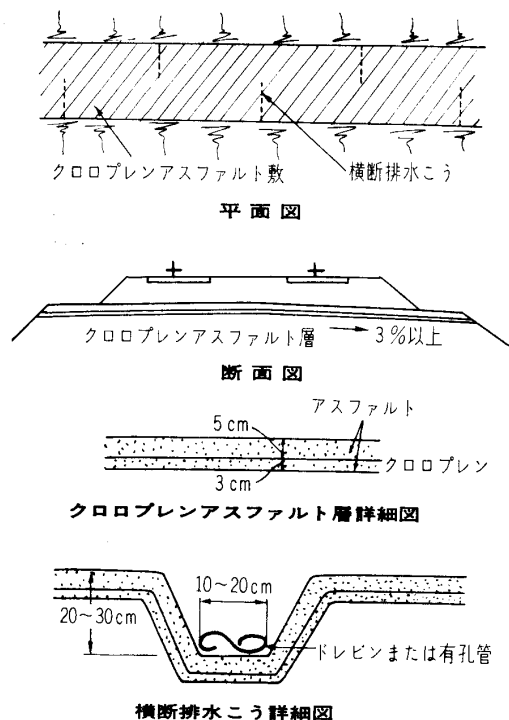


図-6 クロプロレン・アスファルト層設置工法

り強度 100 kg/cm^2 ，伸び率 450%，耐久 15 年程度のもので膜と膜の継目は 10 cm 程度重ね合わせて接着剤で接合する。⑤クロプロレンの上に厚さ 5 cm の上層アスファルトを敷きならし，よく締め固めて平面に仕上げる。⑥ホキ車で新バラストを散布し，軌道整備を入念に行なって本作業を終了する。⑦将来アスファルト層が不等沈下して水がたまるおそれがある場合は，横断排水こうを 20~30 m 間隔に設ける。この工法は夜の列車閉鎖時間内に施工するので作業時間は最大 5 時間位しかとれず，作業員 70 名で施行延長は 25 m 程度である。施工後の調査によると数日後までは 0~2 mm 程度の高低狂い量が進行するが，以後は安定して，施工前後のむら直し周期を比較すると施工後約 1 カ月間は 2 倍程度，その後の 2~3 カ月間は 5 倍程度伸びている。その他路盤面被覆工法として下層アスコンの代わりに荒目の砂 (厚 30 mm) を，上層アスコンの代わりにビニロン帆布 (厚 1 mm) を使用してクロプロレンをはさんで路盤を被覆する工法もあり，実用化している。この工法によると上記工法に比べて作業時間が短く，作業人員が少なくすむ利点があり，多くの現場で使われている。新幹線で施工後 3 年経過したがいまだ噴泥が発生していない。

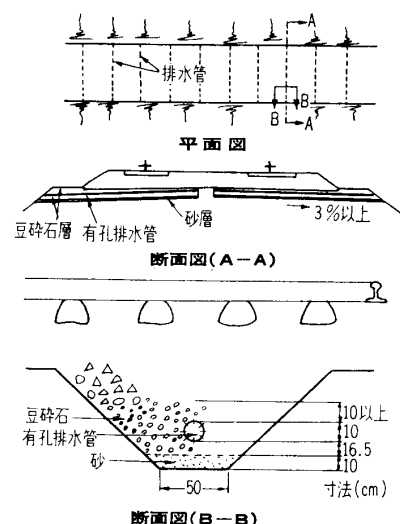


図-7 排水管設置工法

2.6.2 排水管埋設工法 (図-7 参照)

この工法も新幹線で多く採用されている。作業順序は，①まくら木 5 間合の道床を撤去する。②路盤に横断方向の排水こうを掘る。みぞの排水コー配は 3% 以上とし，排水管的の天端が路盤表面より高くないようにする。なおみぞの底幅は 500 mm 位とする。③みぞに厚さ 100 mm のフィルター砂を敷いて十分締め固める。④砂層の上に厚さ 100 mm の豆碎石 (径 10 mm~20 mm) を敷いて十分締め固める。⑤豆碎石層の上に有孔排水管 (外径 165 mm，肉厚 5 mm) を 3% 以上のコー配で設置する。⑥管を豆碎石で埋める。管上の豆碎石層の厚さは 100 mm 程度以上が望ましい。⑦豆碎石層の上に道床バラストを散布して十分締め固め，軌道整備を完全に行なって本作業を終了する。施工後数日間は多少の狂量も生ずるが，以後は安定して噴泥防止の効果を十分発揮している。

2.6.3 路盤置換工法 (図-8 参照)

切り取り区間などで地下水位が高くしかもその低下が困難でまた路盤土の土質もよくない場合よく採用される工法で，まず道床を撤去し，噴泥している不良土もすき取り，代わりに切込み砂利を厚さ 300 mm に敷き十分締め固める。切込み砂利は砂と砂利とが適当によく混合されたもので，砂利により構造的強度を，砂によりフィルター性能を保つに適したものである。以後は新しい道床バラストを散布して十分締め固め，軌道整備を完全に行なう。切込み砂利の代わりに貧配合アスコン (厚さ 80 mm) を敷設する場合もある。これは砂に若干の粘着力を与えるだけで，地下水の蒸

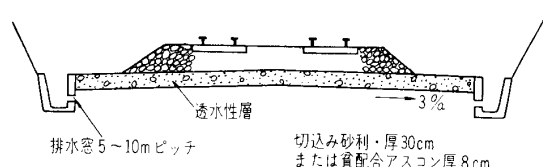


図-8 路盤置換工法

発を妨げないために透水性に富むものでなければならない。

その他路盤安定処理工法として路盤表層を Fe 石灰、サンゴ礁石灰岩、ソイルアスコン、リグニンなどで安定処理する方法がある。これらの中には試験的に施工されたものもあるがまだ現場で多く採用される段階には至っていない。

3. 沈 下

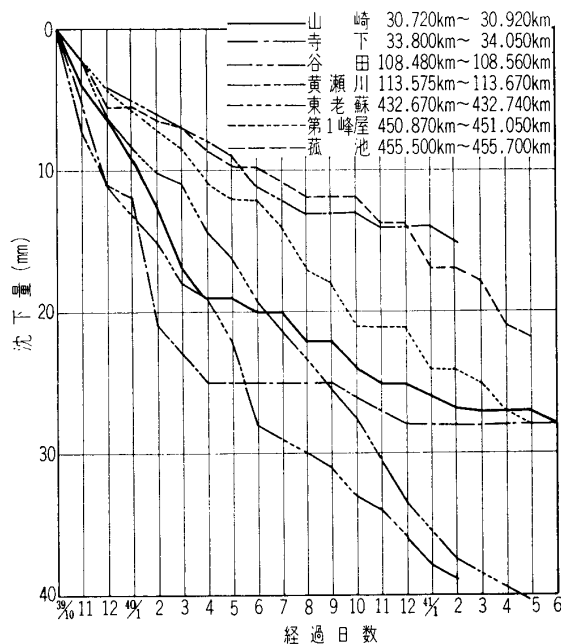
使用開始後路盤の継続沈下がいちじるしいと軌道狂い（とくに高低狂い）が増大し、多大の保守労力が必要となり、沈下速度が保守能力を上回る場合は徐行を余儀なくさせる結果となるので、沈下は鉄道路盤にとって重大な問題の一つである。盛土完成後の沈下にはその地盤による圧密沈下と盛土自身による圧縮沈下が考えられる。

3.1 地盤の圧密沈下

開業後沈下がとくに問題なのは軟弱地盤の圧密沈下である。これは東海道新幹線の開業当初、月間沈下量が 10 mm 以上であった区間がほとんど軟弱地盤の区間であったことから明らかである。このような軟弱地盤の沈下は開業後の沈下量、沈下速度を少なくすることはもちろん必要であるが、その値を正確には握することも以後の保守計画をたてるのに必要なことである。東海道新幹線の設計にあたっては、永久構造物など沈下しない構造物背面での沈下整正に対する保守能力から、直線区間で年間 100 mm 以内、その他で 50 mm 以内の沈下量を目標とした。残留沈下を軽減する工法、沈下を求める方法は種々あるが、本題ではないのでここではこれ以上ふれないこととする。

3.2 盛土自身の圧縮沈下

盛土自身の圧縮沈下は一般に施工中および盛土完成後の放置期間中にある程度進行するが、盛土材料が悪かったり、転圧が不十分であれば、開業後かなりの期間沈下が進行す



図—9 東海道新幹線開業後の盛土の累計沈下量（地盤良好）

表—3 土の種類と圧縮率

土 の 種 類	圧 縮 率 (%)	
	0.7kg/cm ²	7 kg/cm ²
GM	0.2~0.3	0.9~1.4
SM-ML	0.2~0.5	1.3~2.1
GC-SC	0.3~0.8	1.9~3.3
CL, CL-ML	0.2~1.1	2.8~4.2

（アメリカ開拓局報告による）

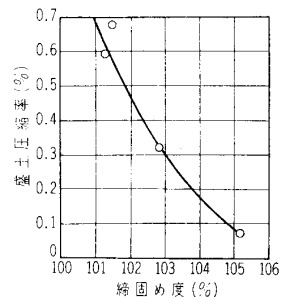
る。図—9は東海道新幹線で比較的良好な地盤での路盤の経時沈下曲線である。盛土の圧縮沈下については一般に下記のことがいわれている。

- ①列車荷重の影響が顕著な範囲は路盤表面から深さ 3 m 位である。
- ②盛土材料により圧縮率（最終沈下量の盛土高さに対する比）は異なり、その値は表—3に示す程度である。
- ③施工完了時の締固め度が高いほど沈下量は小さい。
- ④時間—沈下曲線は圧密と類似の経過をたどる。

(1) ①については理論的計算によれば深さ 3 m 以下では列車荷重による鉛直応力は土カブリ荷重による応力の 10%以下となるが、このことは盛土中に埋設した土圧計による実測によっても確かめられている。また東海道新幹線の沈下測定結果からも盛土高さ 4.5 m 以下の個所の開業後の沈下量は高さに関係ないという結果が出ている。したがって深さ 3 m 以下の下層土が高い圧縮性の土でない限り、開業後沈下が問題になるのは表面から 3 m の間の土である。

(2) 表—3 はアメリカの主要ダムによる実測データである。実際の施工にあたってはその現場で使用する材料について、拘束圧縮試験により、荷重強さと圧縮率の関係を求めて、計算によって、その盛土の絶対沈下量を推定することができる。しかし列車荷重は繰返し荷重なので動的に加えられるエネルギーと締固め度との関係が明確でなければ、最終沈下量を正確に推定することはできない。実際問題として、JIS A 1210 による締固め試験により得られた最適含水比において最大乾燥密度になるように締固められた盛土でも、営業開始後ある程度沈下した例は多く、その原因が最適含水比を求める現行の方法にエネルギー論的に見て不十分な点があるからか、あるいは実際の施工が現場含水比の管理や転圧回数の面で不適当であったためかは、いまのところ断定できない。

(3) 同一材料なら乾燥密度が大きいほど安定した状態にあると考えられるから、



図—10 盛土の完成後の圧縮率と構築時の締固め度（盛土高 3~5 m 3 年後の沈下: Soil Mechanics for Road Engineers）

その後の沈下量は小さいであろう。図-10はアメリカの道路の盛土で実測された例である。また図-11は締固めエネルギー（計算値）とそのときの乾燥密度（実測値）との関係を求めたもので、鉄道の盛土の施工にあたって最適含水比を求めるために行なう締固め試験法の改定を提案する目的で行なった実験の一例である。これからみると JIS A 1210 第2法締固め試験が望ましいことがわかる。

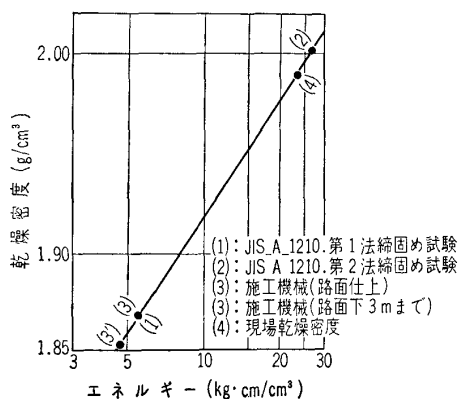


図-11 盛土試料の乾燥密度と締固めエネルギー

(4) 盛土の圧縮沈下の測定記録をみると土の不飽和状態や動荷重的作用にもかかわらず、圧密沈下に似たところがある。図-12は東海道新幹線の例であるが、沈下増加量は時間とともに漸減し、やがて0に収束することがわかる。この時間は盛土材料、雨水の影響程度で違うが、このような関係を明らかにすることができれば、月々の平均沈下量や総沈下量*を制御することができるようになるであろう。

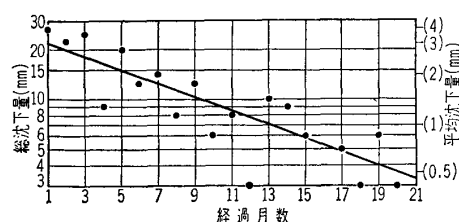


図-12 地盤良好な7個所の月別総沈下量（東海道新幹線）

4. 路盤構築基準

今までは路盤が具備すべき条件、路盤が果たす役割、路盤施工にあたっての注意すべき事項などを主として述べてきたが、ここでは路盤を構築するにあたってその時まで調査、研究により明確になった事柄をいかに取り入れ、決めたかをみてみよう。当然のことながらそれらはその時点で土質工学的見地および社会情勢からみて実施可能な最良のものが採用された。

4.1 東海道新幹線

昭和35年3月つぎに述べる事項に重点をおいて東海道

新幹線に関する路盤構築基準が決められた。

- ① 噴泥防止
- ② 道床バラストのめり込みを少なくする。
- ③ 盛土完成後の圧縮による沈下を少なくする。
- ④ 列車通過時の動的沈下を許容限度内にする。

2. で述べたように全国不良路盤調査の結果、噴泥を起こしにくい路盤材料は粒度とコンシステンシーの面から砂質のものであれば条件にかないうことがわかっていたが、これらの条件を簡単に表わしたいということから細粒土において、最も噴泥に関係の深いものは液性限界であるとし、また道床バラストの路盤へのめり込みはやがて噴泥を誘発させるので、路盤調査から得られたバラストのめり込み量と CBR および液性限界の関係を一緒にした図-13を基

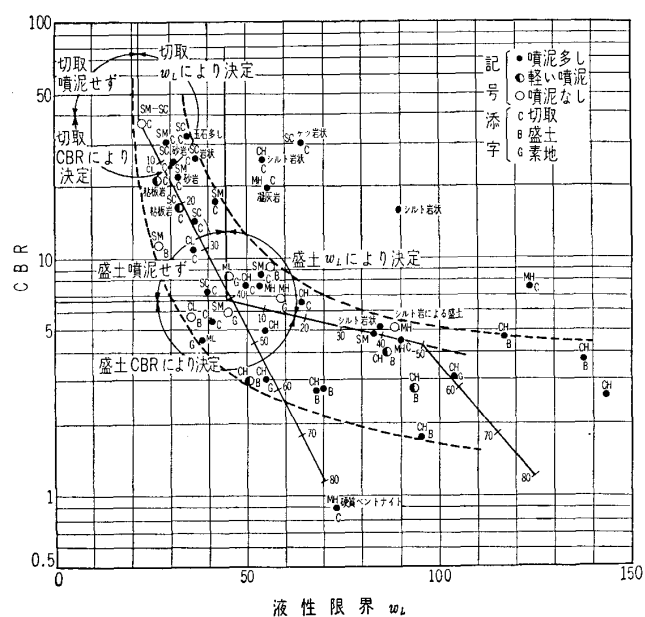


図-13 保護層厚決定図

にして、液性限界とその規制すべき路盤表面からの深さおよび CBR を決めることにした。もし所定の液性限界、CBR が得られない場合は、図-13により得られたそれに相当する保護層（サブバラストがそれに相当する土）を設けなければならないとしている。図-13において横軸にその土の液性限界、縦軸にその土の CBR をとってプロットした点が w_L により決定と書いてある部分にある場合はその点から縦軸に平行線を下し、CBR により決定と書いてある部分にある場合は横軸に平行線を引き保護層厚線との交点から読みとる。

盛土の圧縮による沈下を少なくするためには盛土自身による締まり、雨水による締まり、列車荷重による締まりに相当する荷重を施工中にあらかじめ加えておくことが望ましいと解説で述べているが、盛土施工にあたっては水平に敷きならして土工機械の走行による締固めの効果が十分あるとしている。また締固めの程度は列車通過時の動的沈下量を2～4 mm程度以内におさえることが望ましいとして、

* 総沈下量とは各自の7個所の沈下量の合計をいい、平均沈下量とは1個所平均沈下量をいう。

列車荷重が影響する路盤表面から深さ 3 m 以内を 75 cm 載荷板で K 値 3 kg/cm^3 以上としている。ただし高圧縮性の粘性土、有機土、関東ロームなどは K_{75} で 3 kg/cm^3 以上を得ることは経済的でないので、 1 kg/cm^3 以上とし、切込み砂利などの路盤材料を 20~40 cm の厚さで敷くことにより K 値の不足と噴泥対策としている。その他施工法についての規制として、①盛土材料の土質試験の実施、②なるべく最適含水比に近づけて施工することなどが定められている。その結果、東海道新幹線で一般に採用された施工指針は図-14 のとおりである。ただし 2.2 で述べたように比較的良質の土が得られた名古屋地区だけは、これより厳しい規制を行なった。

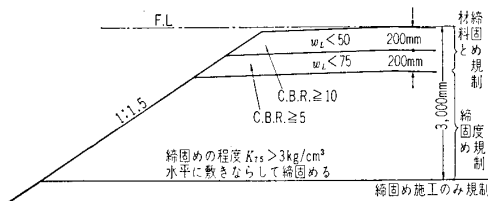


図-14 東海道新幹線施工指針

4.2 山陽新幹線

山陽新幹線の路盤に関する規定は、39年10月の東海道新幹線開業初期の数々の経験から、

- ①盛土表層部の処理
- ②盛土の沈下（含軟弱地盤）とこれに伴う路肩不足および橋台裏の沈下防止

を重点に昭和42年7月制定された。そのなかで路盤材料については東海道新幹線に関して設置された前述の路盤委員会の結論に従ってつぎのように定められた。すなわち

- ①標準網フルイ 74μ を通過する粒子を 10% 以上含むこと
- ②標準網フルイ 420μ を通過する粒子を 70% 以上含まないこと

③液性限界は 35 以下であること

④塑性指数 9 以下であること。

しかしこれらの値は標準値であるとして、盛土の設計施工にあたっては地表排水工、地下排水工等の設置により、排水に留意し、路盤面の締固め度を向上して、噴泥防止に細心の注意を払うことになっている。また盛土の沈下に対しては、とくに軟弱地盤上での盛土の沈下がいちじるしく保守能力の限界を越えて徐行を余儀なくされたこと、プレロードの施工による効果があったことから、軟弱地盤区間では盛土はできるだけ早い時期に施工し、プレロードを行なうことを原則としたこと、また開業後の沈下のため、東海道新幹線では、盛土のノリ肩と道床のノリ尻がほとんど一致した所もあったことから残留沈下量に見合うだけの拡幅をすることを規定している。また盛土の残留圧縮沈下を少なくするために盛土材料の選択基準を厳しくし、FL~3 m間はとくに厳しくした。締固め度は東海道新幹線では路盤面で CBR の数値で、盛土本体では K 値で示していたが、山陽新幹線では 2.5 で述べたように、乾燥密度による締固め度の目標値を与える方法が採用された。締固めの程度は路盤で締固め試験法 (JIS A 1210) の 2.4 法によって定められた最大乾燥密度の 90%、盛土本体は 1.1 法によって定められた乾燥密度の 90% 以上となっている。ただし粘性土を用いる場合はコーン支持力 q_c (先端角 30° 、底部断面積 3.2 cm^2 、貫入速度 1 cm/sec) を 5 kg/cm^2 以上とした。

また東海道新幹線でも問題になった橋台などの不沈下構造物と盛土との取付け部の施工であるが、盛土施工上

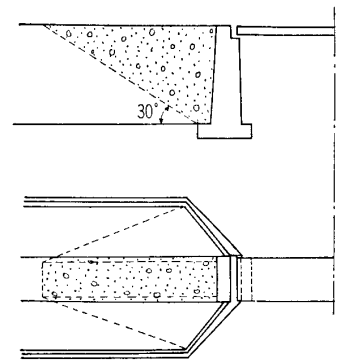


図-15 橋台裏盛土設計 (山陽新幹線)

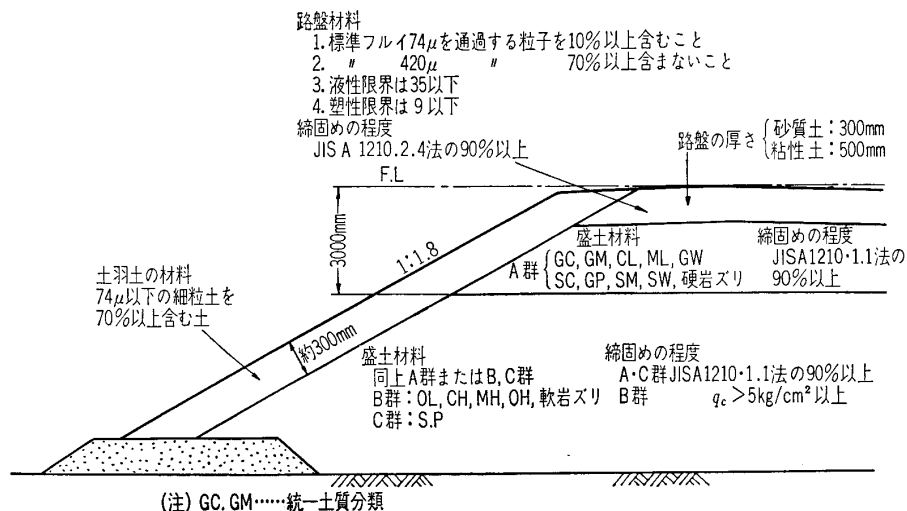


図-16 山陽新幹線施工指針

の最後になるため、クサビ形となり、十分な締固めが困難なこと、切込み砂利の砂分がその後の降雨により、消失したことが原因で沈下が生じたことから山陽新幹線では図—15に示すように盛土の盛こぼしの角度を30°とし、幅を土羽土の部分を除く全幅に広げて施工性を高め、さらに、クサビ状の土質をGW、GC、GM、SM、SC、SMなどのようにバインダーを含むものに規制している。図—16は一般に採用された施工指針である。

5. 路盤上スラブ軌道

路盤上スラブ軌道とは路盤の上にアスファルト舗装を敷

設し、この舗装と、レールをコンクリートスラブに締結した軌きょうとの間にセメントモルタルをてん充してつくった、いわゆるパラストレス軌道構造の一種である。従来の軌道構造は、主として道床の破壊に基づく軌道狂いを道床

表—4 路盤上スラブ軌道設計条件

規 制 項 目	条 件 値
(1) スラブ軌道敷設後生じる最終沈下量の目標値	3.0 cm 以内
(2) 大 だ る み	1/1,800 以内
(3) 折 れ 角	2.7/1,000 以内
(4) 盛土上層部以上の強度	$K_{30} \geq 11 \text{ kg/cm}^3$

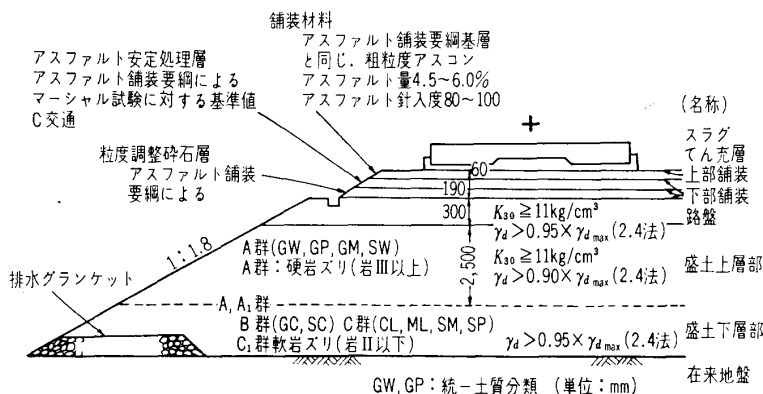
表—5 路盤上スラブ軌道追加示方書（案）

	盛				土				記	事			
	路		盤		盛 土 上 層 部		盛 土 下 層 部						
①層 厚	30cm				250cm		—				○すべての盛土はノリ尻に土留め壁よう壁をつくらないことを原則とする。 ○GM・SWは原則として、排水ブランケットを設置すること。 ○B群は原則として排水ブランケットを設置すること。 ○C群、C ₁ 群は必ず排水ブランケットを設置すること。 ○C群のSPはノリ面より30cm以内に使用しないこと。 ○C群、C ₁ 群は使用の可否ならびに使用する場合は十分検討試験して使用すること。 ○軟岩ずりは試験によりその分類を確認すること。 ○次のものは盛土に使用しないこと。 ○D群(MH・CH・OL・OH)、ベントナイト、蛇紋岩およびその風化土、温泉余土、酸性白土、締固め時に凍結しているかまたは含水比が液性限界をこえている土。		
②材 料	土	最大 粒 径	75mm以下	A群	GW・GP・GM・SW		A群	GW・GP・GM・SW					
			粒		4.76mm以下	30～100%		A ₁ 群	硬岩ずり（岩Ⅲ以上）			A ₁ 群	硬岩ずり（岩Ⅲ以上）
		0.074mm以下		2～10%	最大粒径		300mm以下		最大粒径				500mm以下
		度		Cu	6以上				B群	GC・SC			
	Cc		1～3	C群	CL・ML・SM・SP								
岩ずり 砕 石	最大 粒 径	150mm以下			C ₁ 群	軟岩ずり（岩Ⅱ以下）、 風化硬岩ずり							
	粒度配合の良好なものとする	最大粒径				500mm以下							
③締固め度	土	$K_{30}=11\text{kg/cm}^3$ 以上、 $r_{d\text{max}}$ の95%以上		土	$K_{30}=11\text{kg/cm}^3$ 以上、 $r_{d\text{max}}$ の90%以上		土	$r_{d\text{max}}$ の90%以上		○盛土部締固めの目安としての転圧回数。 盛土下層部一岩ずり一層で予備転圧10tローラー4回以上 盛土上層部一硬岩ずり一層で予備転圧振動締固め機			
	硬岩ずり・砕石	作業基準作成		硬岩ずり	作業基準作成		岩 ず り	作業基準作成					
④施工層厚	土・硬岩ずり・砕石	二 層 仕 上 げ			土	仕上り厚 20cm 以下		土	仕上り厚 20cm 以下		○盛土施工面は排水を考慮して3%以上の横断コウ配をつけること。		
					硬岩ずり	仕上り厚 30cm 以下		岩 ず り	仕上り厚 50cm 以下				
⑤仕上り精度	+10mm -50mm			—		—		—		○仕上り精度は設計高さに対して			
⑥その他	管 理 試 験	試 験 項 目	試 験 方 法	備 考	試 験 項 目	試 験 方 法	備 考						
		含 水 量 試 験	JIS A 1203		塑 性 限 界 試 験	JIS A 1206							
		粒 度 試 験	JIS A 1204	硬岩ずりも行なう (JIS A 1204 準用)	単 位 重 量 試 験	JIS A 1214	自然状態 (地山のまま)						
		液 性 限 界 試 験	JIS A 1205		突 固 め 試 験	JIS A 1210	盛土上下層部2.4法 路 盤 2.4法						

盛土高さの制限、放置期間

盛土下層部の材料	盛土の制限高さ	盛土完成後の放置期間
A, A ₁	20 m 以下*	6 カ月以上
B	12 m 以下	6 カ月以上
C, C ₁	6 m 以下	9 カ月以上

* ただし12m以上については残留沈下量について検討すること。

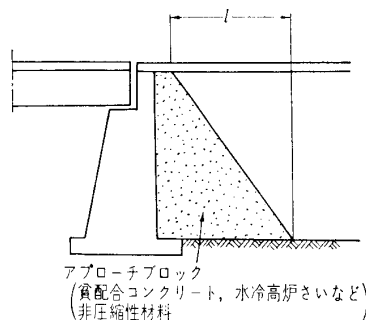


図—17 盛土の構成、土工規準

バラストを補給し突固めするという比較的安価で容易な方法によって修正できる構造であったのに対して、路盤上スラブ軌道は開業後軌道狂いの補修作業がほとんどいらないことを目標として開発されたものである。表—4は路盤上スラブ軌道の設計条件であり、表—5は工事施工上の追加示方書(案)である。

設計条件(1), (2), (3)は列車の乗心地から決められた数値で、新幹線を対象として決められた。締結装置部での軌道狂整正可能量は 30 mm である。(4)はスラブおよび舗装の応力設計から決められたものである。(1)および(4)により盛土材料の選択、地盤の適用条件が決まり、綿密な地盤調査と、十分な施工管理が必要となる。また盛土が高い場合は盛土の圧縮量は盛土高にほぼ比例するから盛土高さの制限を与える必要がある。盛土完成後の沈下が盛土自身の自重により圧密と類似の経時沈下を示すことは先に述べたがこの沈下量の大部分を軌道敷設時には終了させておく必要がある。このことから盛土完成後の放置期間を義務づけることになった。以上による盛土の構成、強度規定、制限条件を図—17に示す。

橋台や、横断構造物などの背面にはとくに(3)の条件を満足させるため、図—18に示すアプローチブロックを施工することになった。



l の値は盛土高さ、盛土材料、地盤条件により決める。ただし背面コウ配は5分以上とする。

図—18 アプローチブロック

6. あとがき

鉄道路盤の噴泥については、今までに多くの調査・研究が行なわれて、その現象の詳細な解明とまではいかないまでも、実務的な意味でその主要因は明らかにされた。路盤の沈下についても同様で、列車荷重という比較的厳しい繰返し荷重を受ける築堤の挙動として、土質工学的立場から解釈されている。したがって、噴泥や沈下を未然に防止したりあるいは発生したものを改良したりすることは、理論的にはそれほど困難ではないが、実際問題としては、経済上の制約があり、また材料選択・土工作業・含水量管理・土質試験などの施工管理上一般的に指摘されているような問題点がそのままここでも未解決で残されている。とくに在来線での列車速度 120 km/h が新幹線になって 210 km/h

となり、さらに近い将来 260 km/h になろうとするのに応じて、路盤に要求される諸数値はますますきびしくなりつつある。それに十分な解答を与えるためには、土質工学的取扱いを今よりさらに数値的に正確なものにしなければならないと考えられる。

鉄道はその構造においていま大きな変革を遂げようとしている。すなわちその弾性や作業の容易性でまことに巧妙にその役割を果たしていた道床バラストが排除されて、バラストレス軌道に移行しようとしている。そしてその一種であるスラブ軌道が、トンネルや橋りょうや高架橋に応用され、目下土工区間に採用されようとしている。ここには当然のことながら土質工学的配慮が必要となり、そのための幅広い研究が行なわれているのが現状である。

最後にこの報告をまとめるにあたって、種々の資料を参照させていただいた多くの著者の方々に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 西亀, 室町他 2 名: 不良路盤の実態調査, 鉄道業務研究資料, Vol. 13, No. 22, 23, 1956 年 10 月
- 2) 西亀達夫: 鉄道線路の噴泥, 土と基礎, No. 13, 1956 年 2 月
- 3) 西亀達夫: 鉄道の路盤に関する二, 三の問題, 土と基礎, No. 13, 1956 年 12 月
- 4) 路盤委員会: 高速運転における噴泥の発生原因および発生機構に関する研究報告書, 鉄道施設協会 1968 年 3 月
- 5) 西亀達夫: 鉄道路盤表層土の材質判定法について, 土と基礎, No. 45, 1961 年 4 月
- 6) 西亀達夫他: 盛土資料の判定法, 鉄道土木 1961 年 10 月
- 7) 都 淳一: 鉄道路盤, 土質工学ハンドブック, 1964 年
- 8) 高速道路調査会: 土の締固めに関する調査研究報告書 1972 年 2 月
- 9) 井元美晴: 新幹線における噴泥防止の研究, 鉄道線路, Vol. 14-1, 1966 年 1 月
- 10) 斎藤迪孝他 9 名: 適性盛土構造の研究, 鉄道技術研究報告 No. 595, 1967 年 6 月
- 11) 西亀達夫, 本田修一: 鉄道の盛土と土の突固め 試験法第 11 回土質工学シンポジウム, 1966 年
- 12) U. S. Bureau of Reclamation: Earth Manual, 1960 年 7 月
- 13) Road Research Laboratory: Soil Mechanics for Road Engineers, Her Majesty's Stationery Office, 1952 年
- 14) 針生幸治: 高築堤内応力分布測定について, 保線ニュース Vol. 3-6, 1955 年
- 15) 都 淳一: 鉄道盛土の沈下の推定, 土質基工学ライブラリー 7, 1971 年
- 16) 久野悟郎: 土の締固め, 技報堂, 1963 年
- 17) 久野悟郎他 2 名: 土質工学演習, 学敵社, 1969 年
- 18) 新幹線総局計画審議室施設: 新幹線規格, 1961 年 8 月
- 19) 斎藤迪孝: 盛土施工に関する最近の資料から, 鉄道技術研究所速報, 1959 年 6 月
- 20) 国鉄建設局: 土構造物の設計施工指針(案), 1968 年 2 月
- 21) 山陽新幹線技術基準調査委員会報告, 1966 年 8 月
- 22) 町田富士夫他 3 名: 新幹線の計画と設計, 山海堂, 1968 年 11 月
- 23) 国鉄スラブ軌道研究会: スラブ軌道の設計施工, 鉄道施設協会, 1971 年 3 月
- 24) 伊藤友太郎: 山陽新幹線のスラブ軌道区間における土木構造物, 鉄道線路, Vol. 19-8, 1971 年 8 月
- 25) 西亀達夫: 鉄道工学特論, 森北出版, 1969 年 4 月

(原稿受理 1972.4.5)