

鉄道における盛土構造物の変化・変遷

Technical Changes of Railway Embankment Structures

館 山 勝 (たてやま まさる)

財鉄道総合技術研究所 基礎・土構造研究室長

1. はじめに

在来鉄道の多くは明治～昭和初期に造られたものであるが、そのうち、JR、民鉄を含めた盛土延長は約14 500 km（全体の57%）にも及び、切土も含めると実に総延長の82%が土構造物で構成されている。

一方、昭和39年以降に造られた新幹線では、盛土延長は約200 km（全体の10%弱）であり、切土を含めても総延長の21%に過ぎない。このように、時代とともに盛土が敬遠されるようになってきたのは、盛土の多くは建設年代が古く品質も不十分であったため、建設費は安いがメンテナンス費用まで加えたライフサイクルコストで考えた場合にはRC構造物の方が得であるという評価がなされてきたためと思われる。しかしながら、新幹線など戦後に造られた盛土は、機械化施工の導入、設計基準の整備、地盤改良技術の向上、補強土工法の導入などにより品質が格段に向上し、きちんと造ればそれなりの性能で構築できることが次第と認知されるようになってきた。その結果、盛土も構造物として認められ、従前の「土工」から、「土構造物」という名称で呼ばれるようになった。さらに最近では、規基準類の性能規定化などによって、構造物間の垣根を超えて、高架橋などと等価な性能の盛土を造ることが求められ、実際に造れるようになってきた。

ここでは、このような鉄道における盛土構造物の技術の変遷を、主として技術基準の観点から概観する。

2. 技術基準の変遷

2.1 土工に関する技術基準の流れ

表一1は鉄道の土工に関する主な技術基準の変遷を示す。昭和62年4月のJR発足以降は、鉄道事業者を一元的に規制する鉄道事業法が制定され、鉄道構造物の設計に係る技術基準も一元化されているが、それ以前の鉄道は、国鉄と民鉄のそれぞれに対して、日本国有鉄道法および地方鉄道法が定められていた。しかしながら技術基準は、主として国鉄が整備し、民鉄各社もそれを準用していたため、ここでは国鉄時代～現在に至るまでの基準の変遷を示す。

土工に関する技術基準としては、大正6年に現在の土木工事標準仕方書の前身である「土工その他仕方書標準」が制定され、戦後、他構造物もまとめて「土木工事標準仕方書」が整備されている。これらは、工事の仕方

表一1 土工に関する鉄道の技術基準

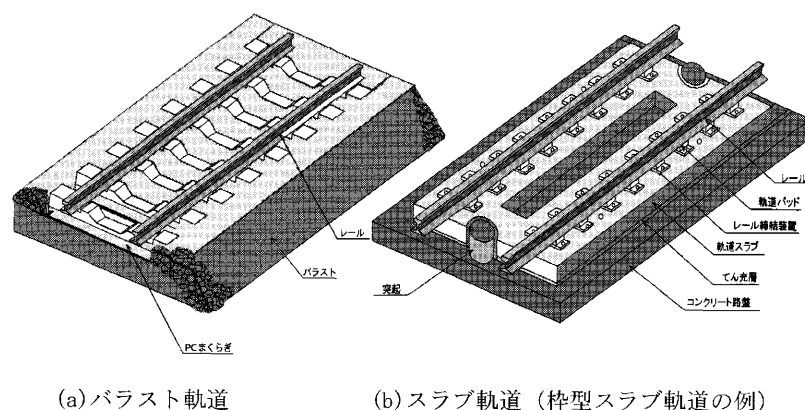
No	基準の名称	制定年
1	土工その他仕方書標準	大正6年
2	土木及び建築工事別仕方書	大正10年
3	土木その他工事仕方書	昭和10年
4	土木工事標準仕方書	昭和22年
5	土木工事標準仕方書	昭和24年
6	土木工事標準仕方書	昭和32年
7	鉄道路盤構築基準（案）	昭和34年
8	新幹線規格（国鉄、新幹線総局）	昭和36年
9	土構造物の設計施工指針	昭和42年
10	土木工事標準仕方書	昭和44年
11	スラブ軌道の設計施工（鉄道施設協会）	昭和46年
12	建造物設計標準解説（土構造物）	昭和53年
13	土木工事標準仕方書	昭和62年
14	鉄道構造物等設計標準（土構造物）	平成4年
15	スラブ軌道用路盤構造設計・施工の手引き（案） （日本鉄道建設公団）	平成5年
16	鉄道構造物等設計標準（省力化軌道用土構造物）	平成11年

記事）網掛けは、現在使用されている基準

の標準であるとともに、工事契約書に添付する仕方書として定められた。このため、施工を中心にした構築基準は記載されているが、設計に関する記述は少ない。この仕方書は、その後、技術の進歩や諸規定類の変更に対応して逐次改訂が進められ、最後は民営化以降の監督体制の効率化に対応すべく、昭和62年3月に国鉄が改訂を行った。これが、現在、JR各社で準用されている。

一方、設計基準として初めてまとめられたのは、東海道新幹線の構築基準である「新幹線規格」である。これに、新幹線開業後の種々のトラブルを踏まえて制定されたのが、「土構造物の設計施工指針」である。この指針には、擁壁や基礎、排水工などの設計も示されており、これにより付帯設備も含めて土工設備全般の設計が行えるようになった。この指針は、逐次改訂が進められ、現在の「鉄道構造物等設計標準（土構造物）」に至っている。

これらはバラスト軌道を対象としたものであるが、山陽新幹線以降、保線のメンテナンスフリーを目指して高架橋・トンネル区間などではスラブ軌道が用いられるようになってきた（図一1参照）。スラブ軌道は沈下に対する調整代が小さいため、当初は土路盤上での採用は見送られてきたが、その他の区間におけるスラブ軌道の進展に伴い、土路盤上での適用を念頭に昭和46年に「スラブ軌道の設計施工」が鉄道施設協会によってまとめられた。さらに鉄道建設公団では、北陸新幹線への適用を



図—1 軌道の種類

目指して「スラブ軌道用路盤構造設計・施工の手引き」をまとめ、土路盤上スラブ軌道が新幹線で初めて適用された。それらの実績に基づいて、現在の「鉄道構造物等設計標準（省力化軌道用土構造物）」が制定された。

2.2 戦前の鉄道盛土

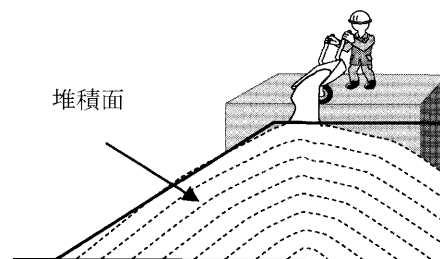
戦前（昭和20年以前）の土工は人力施工が基本であり、構築後の保守や安定よりは、切土やトンネル掘削ズリをいかに少ない労力で運搬し盛り立てるかが優先された。この頃は、土量のバランスが最優先であり、盛土材を選んだり水平にまき均したりすることもなく、切土やトンネルの掘削土をまきこぼして、法面だけを土羽打ちにより締め固めて造ったものが多かったようである。

盛土の被災現場で断面を観察すると、図—2のように堆積面が法面方向であることがよく見受けられる。このような盛りこぼし盛土は、潜在的に滑りやすい面を有するため、ちょっとした雨や地震で容易に滑ることになる。また、盛土材が粘性土であれば、構築後に沈下が生じ、路盤面が噴泥する。このため、戦前に造られた盛土は雨や地震でしばしば壊れ、沈下や噴泥も生じるため多くの保守を必要とした。しかし、簡単に修復できるメリットもあり、人件費が安く大量の保守要員を擁していた時代には、大きな問題とならなかった。

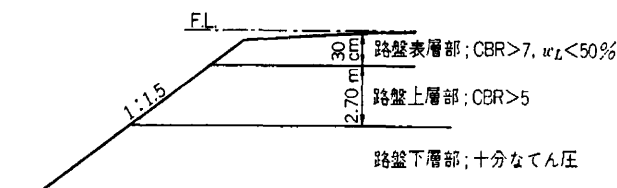
2.3 戦後～東海道新幹線建設まで

戦後、機械土工がアメリカから本格的に導入された。昭和22年、国鉄技術研究所では、米軍三沢基地の建設に際しての土工管理に参画し、最新の技術が導入された。その後、これらの技術は信濃川水力発電所の大堰堤の建設に利用された。昭和30年代には、機械施工を前提とした土工管理の新しい考え方が示され、昭和34年に「路盤構築基準」としてまとめられた。図—3に概要を示すが、この中には、CBR 値による路盤や盛土の強度管理に加えて、盛土上面では動的変形量の規制のために K_{75} 値による管理方法も示されている。

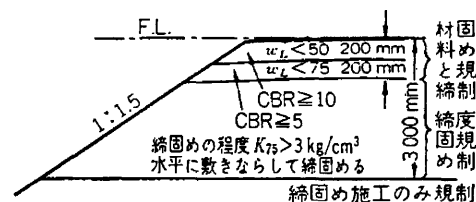
東海道新幹線の建設のために昭和36年に制定された「新幹線規格」も、これとほぼ同じ内容であるが、路盤が2層区分され、上層路盤の CBR 値が、より厳しいものとなっている（図—4）。それでも東海道新幹線は、開業当初に多くのトラブルが発生した。図—5に東海道新幹線における年度別被害件数を示すが、特に開業1



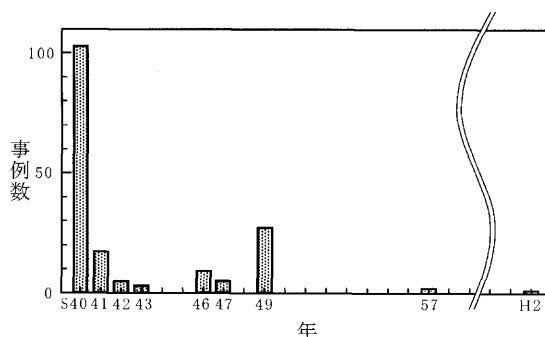
図—2 人力で造られた盛りこぼし盛土



図—3 路盤構築基準（在来1,2級線）



図—4 東海道新幹線路盤基準



図—5 年度別災害件数（東海道新幹線）

年目は、雨による法面崩壊による運転停止、橋台背面盛土の沈下による速度規制、路盤噴泥による軌道保守の増大などが多発する結果となり、社会的な問題となった。これらの問題は、東海道新幹線が突貫工事であったため、軟弱地盤に対する処置や盛土材の選別、路盤強度の規程

論 説

が十分ではなかったことに起因したものとされている。

2.4 東海道新幹線以降～現在

東海道新幹線の反省を踏まえて、これまでの集大成として昭和42年に「土構造物の設計施工指針」が制定された。この指針は、土工を構造物として捉えて、計画、調査、設計、施工に至る一連の事柄に対してまとめられた基準であり、当時としては画期的なものであった。盛土材の選定基準、橋台背面のアプローチブロック、締固め管理値としての乾燥密度・コーン支持力の導入、路盤材料の粒度規程、排水設備の充実、基底破壊に対する円弧すべり安全率による判定などが導入された。

山陽新幹線の建設にあたっては、この指針の考え方を基本としたが、法面の緩勾配化（1:1.5→1:1.8）、盛土材料、路盤材料の選定基準の強化、締固め度（ D 値）による管理、土留め壁の使用制限などが新たに導入された。

さらに昭和53年には、従来の指針以上に拘束力を持つ設計基準として、「建造物設計標準（土構造物）」が整備された。この標準では、高架橋並みのメンテナンスフリーを前提とした土構造物の構築を目指して、層厚管理材の配置、構造物系法面工の使用、強化路盤の採用、盛土支持地盤条件の提示などがなされ、従来に比べて更に厳しい基準となった。

図-6 に、国鉄における土構造物の採択比率を示す。技術基準がない時代に造られた在来鉄道のほとんどは、土工で造られていたのに対して、基準の整備が進むにつれて激減し、東北新幹線や上越新幹線では、トンネルとトンネル間の瞬き区間において多少用いらただけで、ほとんど土構造物は採用されなくなってしまった。

そこで、これらの反省を踏まえて、平成4年に制定された設計標準では、線区の重要度に応じた法面勾配の設定、法面工の見直し（植生工の採用）、補強土工法の本格的導入などを図り、経済性の向上を図った。その結果、その後、建設した長野新幹線や東北新幹線における土構造物の採択比率は10～15%程度まで改善されている。

2.5 スラブ軌道用土構造物

上述はバラスト軌道を基本とした場合の土構造物の設計基準であるが、軌道のメンテナンスフリーを目指したスラブ軌道の開発が昭和40年から始まり、新幹線の建設では高架橋やトンネルなど土路盤以外のほとんどの区間に多用されるようになった。このような情勢を踏まえて、山陽新幹線（岡山～博多）の建設にあたり、昭和46年にスラブ軌道用土路盤の構築基準（図-7）が示された。

現在、用いられている「省力化軌道用土構造物標準（平成11年）」もこの基準を基本としたものであるが、スラブ軌道は沈下に対する調整代がバラスト軌道に比べれば格段と小さいため、盛土支持地盤に対しては軌道構築後の沈下が10 mm/10年間以内、盛土材も基本的には礫系の良質土（A 群材料）以外は用いないものとしている。また、兵庫県南部地震以降に整備された耐震設計標準³⁾の設計法を取り入れ、L1 地震時における残留変

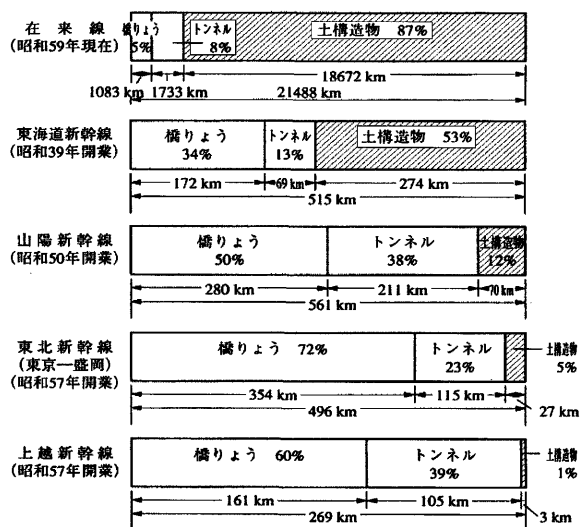


図-6 土構造物の採択比率

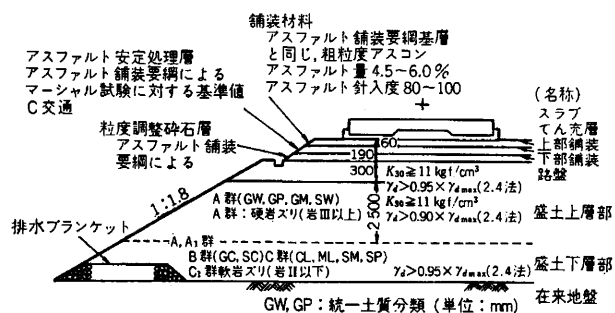


図-7 スラブ軌道用盛土の基本構成

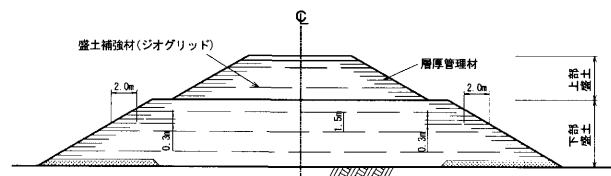


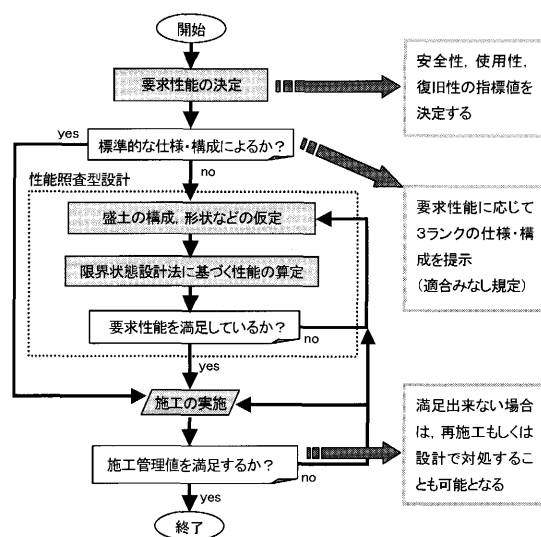
図-8 省力化軌道用土構造物標準

形量を10 mm、L2 地震時を50 mm 程度以内に抑えるように、層厚管理材や盛土補強材を配置することになっている（図-8）。

3. 性能規定化への対応

以上のような対処によって、高架橋と同等の信頼性の高い土構造物を構築できるようになったが、一方で過度な信頼性を追求した結果、経済性の悪化や設計・施工管理の煩雑さなどから、土構造物がもともと持ち合わせていた簡便で容易な構造物という特徴が失われている事実も見逃すことはできない。特に、重要度が低い場合や規模が小さい場合にも、一律に同じ基準を採用することは現実的ではない。

近年、鉄道においては、個別の事情や新技術への対応を柔軟に行うために、規基準類の性能規程化⁸⁾が進められている。そこで土構造物についても、性能照査型設計法の体系に移行することを目指した改訂委員会（土構造物設計標準に関する委員会：委員長 東京理科大学 龍岡文



図—9 改訂標準の設計フロー

表—2 性能ランクと要求性能のイメージ

性能ランク	性能ランクⅠ	性能ランクⅡ	性能ランクⅢ
要求性能	常時においては極めて小さな変形であり、L2レベル地震動や異常降雨時(100年確率雨量)においても過大な変形が生じない性能を有する土構造物。	常時においては通常の保守で対応出来るが、L2レベル地震動や異常降雨時(100年確率雨量)においては壊滅的な破壊には至らない性能を有する土構造物。	常時においての変形は許容するが、L1レベル地震動や年に数度程度の降雨に対しては破壊しない程度の性能を有する土構造物。
適用における具体的なイメージ	例えば、スラブ軌道を支持する盛土	例えば、重要度の高い線区のバラスト軌道を支持する盛土	例えば、一般的な線区のバラスト軌道を支持する盛土

夫教授)が設置され最終原案を得ており、今秋に予定される発刊に向けた作業が、現在進められている。この基準は上述の課題を解消できる方法として期待されている。

図—9は改訂標準における設計フローを示す。この標準では性能照査型設計法を基本としていることから、最初に重要度や軌道構造、復旧の難易度、補修性などを勘案して要求性能を定める。具体的には、表—2を参考に要求性能を満たす性能ランクを選択することになっている。次に、性能ランクを確保するための各々の性能項目に対する指標値を定め、仮定した断面に対して応答値を算定し性能照査するものである。しかしながら、すべての土構造物に対して、このようなことを行うことは煩雑である。特に小規模な工事などでは、多少、余裕がある設計となっても、煩雑な計算によらずに仕様や構成を決定する方がトータルとして合理的となる場合が多い。そこで改訂標準では、あらかじめ各性能ランクに適合することを検証してある標準的な仕様(適合みなし仕様)も示すことにした。これにより、性能ランクに対応した盛土形状や盛土材、法面工などを選択し施工を行うことによって、所要の性能を確保することが可能となる。

適合みなし仕様を用いない場合には、応答値を算定し限界値と比較することによって性能照査することになるが、変位、変形、破壊安全度などの応答値を算定するとかなりの困難を伴う。特に土の場合には、RCや鋼などと比べて材料のバラツキが大きく、応力・ひずみ

関係(構成則)も複雑であるため、精緻に応答値を求めようとすると、詳細な調査と、高度な数値解析が必要となる。とりわけ、雨や地震などの作用に対してFEMなどの数値解析を行うことは実務的ではない。そこで、この標準では、比較的簡便に応答値を算定する方法も示すことにした。

具体的な照査方法については、別途、機会を得て紹介したいと考えているが、性能規定型設計法では、要求性能に合わせて柔軟に設計することが可能となる。このため重要線区では雨や地震で壊れない高級盛土を造ることもある程度可能となるし、閑散線区などにおいては、多少、壊れることも許容し、トータルとして適正な構造を提案することも可能となり合理的である。今後の展開に期待したい。

4. おわりに

鉄道盛土は時代とともにその要求性能が変化し、RCや鋼構造物と同等の性能を求めて高級化の道を歩んできた。実際、支持地盤をセメントで固めて、良質な盛土材料を購入してよく締固めを行い、コンクリートで法面を覆い、ジオテキスタイルなどの補強材を多段に配置することによって、地震や雨に対しても他の構造物に負けない性能の土構造物ができるようになってきた。しかしながらその一方で、掘削土の再利用率は低下し、設計も複雑になり、経済性や環境適合性も低下するなどの弊害も見受けられる。この点に関する是正は今後の課題である。

土を材料とする盛土構造物は、RCや鋼のような材料劣化がなく、建設直後は手が掛かったとしても徐々に丈夫となり全取替えの心配もないため、長いスパンでみれば維持管理がしやすい構造物とも言える。したがって合理的な設計を行うためには、年代効果による性能の向上をどのように評価するのが重要となる。盛土の本質を見極めた適切な判断ができるかどうか、今後の鍵になりそうである。

参 考 文 献

- 1) 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)，丸善，1992。
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(省力化軌道用土構造物)，丸善，1999。
- 3) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)，丸善，1999。
- 4) 国鉄：土木工事標準仕方書(施管第164号)，1969。
- 5) 日本鉄道施設協会：鉄道施設技術発達史，pp. 320～330，1994。
- 6) 伊東孝之・草間 一・佐藤博紀・村田 修：土構造，山海堂，1985。
- 7) 国鉄技研：土質研究室の沿革と研究成果，鉄道技術研究所速報，1980。
- 8) 運輸技術審議会：今後の鉄道技術行政のあり方について，諮問第23号，運輸省，1998。
- 9) 館山 勝・村田 修：鉄道土構造物の性能規格化の動向，土と基礎，Vol. 50, No. 1, 2002。
- 10) 館山 勝：土構造設計標準の性能規定化への取り組み，RRR，Vol. 61, No. 8, 2004。

(原稿受理 2006.5.26)