

鉄道土構造物の施工管理手法に関する日仏の技術基準類の比較

東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 准教授 渡邊 健治

1. はじめに

鉄道土構造物に関する日本の技術基準は平成 19 年に性能規定化され、設計（特に耐震設計）が重視されるようになったが、鉄道盛土の施工管理に関する規定は性能規定化という趣旨を勘案し最低限の記載にとどまっている。一方、フランスを始めとする欧米の基準は従前の仕様設計法に基づいているが、盛土材料は細かく分類分けされており、締固め管理に関しても建設重機の種類に応じて締固めエネルギー・締固め層厚等が細かく規定され、発生土の有効活用等、環境に配慮した施工が可能となっている。

本調査研究では、文献調査およびフランス人技術者へのヒアリング調査を通じて、日仏の鉄道土構造物に関する技術基準類の比較およびその背景にある考え方の違いについて考察する。

2. 研究結果（概要）

2.1 日仏の技術基準類の比較（文献調査）

(1) 比較対象とした技術基準：比較した文献は、鉄道構造物等設計標準・同解説¹⁾（以下、日本鉄道基準）およびフランス IFSTTAR（旧 LCPC）による技術基準²⁾（以下、フランス基準）である。フランス基準は鉄道だけでなく道路・堤防等の土構造物も適用対象としている。

(2) 盛土材料の土質分類

①日本鉄道基準：

安定計算や土圧算定に用いる「土質区分」、施工管理に用いる「群分類」がある。土質区分は盛土材料のせん断強度に応じて 4 区分に分類され（土質 1～4）、群分類は土の締固め易さに応じて 7 区分に分類されている（A 群、B 群・・・V 群）。土質区分と群分類は完全には一致しない。

②フランス基準：

細粒分含有率によって 4 つの大区分に分類される点では日本に類似している部分があるが、粘土分の

特性（アッターベルグ限界、塑性指数 I_p ）によってさらに 12 個のグループに細分化され（図 1）、さらに個々のグループが施工当日の含水状態により 3～5 個のグループに分けられている点が特徴的である

特に粘土分の特性に基づく土質分類の細分化のために「メチレンブルー試験結果」を指標としている点が特徴的である。メチレンブルー試験は日本ではあまり一般的ではないが、土中に含まれるスメクタイトのうちモンモリロナイトの含有量を簡易に測定する手法であり³⁾。フランス基準ではアッターベルグ限界に代わる指標として用いるためである。すなわち、

(a) アッターベルグ限界試験は 400 ミクロン以下（日

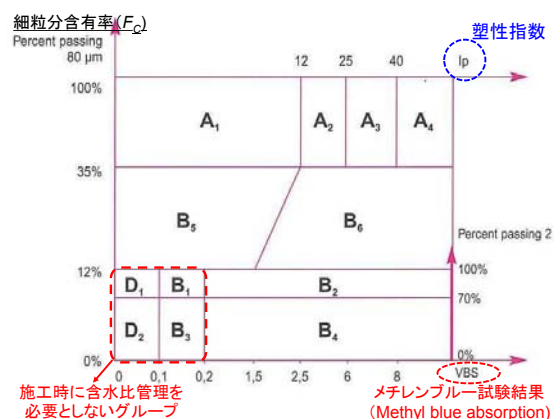


図 1 フランス基準による土質分類
($D_{max} \leq 50\text{mm}$ の場合、文献 2 に加筆)

本では 420 ミクロン以下) の土に対して実施するが、細粒分含有率が低い土の場合、アッターベルグ限界試験では土全体の性質を評価できない。

(b) メチレンブルー試験の方が短時間で実施できる(約 2 時間、アッターベルグ限界試験は 2 日程度)。

(c) 土の強度(支持力等)がわずかな含水比の差で急変する場合があるが、細粒分含有率が低い場合はその影響(水の感度)をアッターベルグ限界では十分に評価できない、

という理由により、細粒分含有率が低い場合は、メチレンブルー試験はアッターベルグ限界試験の代わりとして用いられることが多い。

フランス基準において、上記のような試験によって土質分類を決めているのは、

(1) 環境負荷を考慮し、購入土ではなく、できるだけ現地発生土を積極的に用いるため

(2) 盛土材料の力学的特性が粘土分含有率だけでなく種類によって異なり、それによって最適な施工管理方法、安定処理方法が異なること、

を重視しているためであるが、日本では粘土の種類やコンシステンシーまでが考慮されることは少ない。

(3) 締固め管理

①日本鉄道基準：

主に K30 値(平板載荷試験)、締固め密度比(D 値)によって管理し、盛土の重要度に応じて管理値(平均値、下限値)が使い分けられている。締固めエネルギーについては、D 値算出に用いる最大乾燥密度(ρ_{dmax})を算定する際に規定されているが、「標準 Proctor」あるいは「修正 Proctor」のどちらで算定すべきか明確には定められていない点や、含水比管理が通常行われない点に課題が残る。

②フランス基準：

日本と異なり、現場で K30 値や D 値管理を行わない。その代わりに現場で実際に用いる施工機械の種類に応じて、締固め回数、転圧回数、転圧速度、仕上がり厚さが各土質区分毎に細かく規定されている。締固めに用いる重機については、締固め方式やエネルギーに応じて 17 種類以上に細分化されている。また、多くの盛土材料は施工当日の含水比と最適含水比(標準プロクターで算定)との比(w/w_{opt})と天候により、施工の可否や締固めエネルギー(3通り)が決められている。この基準は、フランスにおいて 1980 年代前半から継続的に実施された研究プロジェクトを通じて確立された締固め管理手法であり、長さ約 50m、幅が 5~6m の施工ヤードにおいて約 100 通りの締固め試験を行った結果に基づいている。

2.2 日仏の考え方が異なる原因について(フランス人技術者へのヒアリング調査結果)

要因①：盛土の安定性照査の重要度

日本では技術基準が性能規定化され、近年の地震被害を考慮し、特に施工後の土構造物の耐震性能が重視されるようになった。そのため、土質区分(土質 1~4)は土のせん断強度(C 、 ϕ)に基づいて分類されている¹⁾。当然ながら盛土の設計は施工前に行われ、現場では設計時に想定されたせん断強度を満足する盛土材を準備する必要がある。この手法は盛土の耐震性を担保するためには良いが、設計段階において現場で得られる土の種類は分からないため、現場発生土の再利用を難しくしている側面がある。

一方、非地震国であるフランスでは設計(=施工後の安定性照査)よりも、施工時のトラフィカビリティと、供用時(列車通過時)の軌道直下の盛土材の剛性を重視している。そのため盛土材料の種類・締固め管理とせん断強度が直接リンクしていない。本調査研究で行ったフランス人技術者へのヒアリン

グ調査では、地震国であり盛土の耐震設計を重視する日本の考え方に理解できると前置きを置きつつも、日本で実施している K30 値や D 値による「点」での管理には懐疑的であり、締固め方法を詳細に規定する「面」での管理の方がばらつきの少ない高品質な盛土が構築できるというコメントが得られた。

要因②：環境負荷低減性の重要度

フランスでは環境負荷低減性の観点から設計段階で厳しい環境アセスメントを実施している。そのため、路線計画の段階で切盛土量のバランスを非常に重視し、発生土を可能な限り現場転用することを目指して

いる。切盛土の土工計画を Movement de Terre (= 台地の移動) と称しているのはその思想を物語っている。フランスの施工管理基準は、発生土を積極的に推奨しつつ、新設する土構造物（盛土）が所要の性能を満足するために、発生土の種類・状態・当日の天候等に応じた施工方法をかなり詳細に規定していると言える。

フランス人技術者へのヒアリング調査では、日本のように設計段階で、現場で使用する土質分類を決めてしまうことは現場発生土の有効利用を抑制してしまうのではないかとのコメントが得られた。例えば、2015 年に実施された TGV 新線建設現場における盛土施工（図 2）では、現場発生土の全てが盛土に再利用され、用地外処分（産廃）はゼロであったとの紹介があった。すなわち、現場での発生土の種別、施工時の天候を考慮した上で適切な施工管理を行う方が重要だという考えをフランス技術者は強く持っている。



図2 フランスにおける鉄道土構造物の施工現場
(TGV 建設現場、著者撮影)

3. おわりに

日仏には鉄道に関して長い歴史を持ち、高速鉄道ネットワークが発達しているという共通点があるものの、耐震性を重視し、欧州ほどの環境意識を持って来なかった日本と、非地震国であり環境負荷低減を重視するフランスでは、鉄道土構造物の施工管理方法に大きな違いが見られた。

近年、環境意識の高まりから整備新幹線やリニア建設でのトンネル施工に伴う発生土の有効活用が強く求められているが、現行の日本の鉄道基準では十分に対応できない状況にある。また、今後はインドの高速鉄道建設プロジェクトのように、海外で鉄道土構造物を建設する機会も増えてくると想定される。これらの状況に対応するためには、最新の締固めに関する理論、および最新の施工機械の技術開発動向、鉄道土構造物の要求性能を勘案しながら、現場での発生土あるいは現場で入手可能な盛土材料の種別、施工時の天候を考慮した上で適切な施工管理を行う必要がある。このような土質力学の「本質」に基づく鉄道土構造物の施工管理手法の確立が求められる。

謝辞：本報告書の作成時にあたり、フランス国立運輸・整備・ネットワーク科学研究所（IFSTTAR）の Yasmina Boussafir 博士に多くの資料提供およびフランスでの施工管理手法の考え方を教えていただいた。末筆ながら深謝の意を表する。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物），2007. 2) Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (旧 LCPC、現 IFSTTAR)：“Practical manual for the use of soils and rocky materials in embankment construction”，2003. 3) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009.