

高速道路における土工技術の変遷

—高速道路盛土での機械化施工・品質管理手法について—

横田 聖 哉・中 村 洋 丈

高速道路における土工技術は、様々な土質材料に対応するために現場での試験施工を実施し、逐次検証することにより、試行錯誤しながら発展してきた。その結果、名神高速道路の建設から現在に至るまでの土工技術は、設計・品質管理・施工技術の面で飛躍的に向上した。特に名神の建設での機械を主体とした施工と施工管理方法は、現在の土工工事の基本となっている。ここでは、これら土工技術のうち、高速道路盛土における大型機械の導入などの機械化施工の変遷・変化とそれに伴う品質管理手法の推移について述べるとともに、最近の取り組みについて紹介する。

キーワード：高速道路，土工，盛土，機械化施工，品質管理

1. はじめに

高速道路における土工技術は、名神高速道路の建設を契機として、設計・品質管理・施工技術の面で飛躍的に発展した。これら道路土工技術は、土質工学の理論を実際の設計や施工などに適用し、現場での新しい知見と経験を踏まえて、それを活用しながら築かれてきた。また、一方で、施工方法は人力や小規模機械によるものから、大型機械を導入した施工に移り変わり、施工の効率化・高度化が図られた。

名神高速道路の建設では、大型施工機械を基本とした施工方法が本格的に採用されることとなった。多くの場合、これまでに経験のない現場では、たえず試験盛土を実施し、検証することを繰り返し、試行錯誤しながら結果として施工に反映し、道路土工の施工体系を形成してきた。名神高速道路で培われた技術は、東名高速道路、縦貫道、横断道へと全国的に展開され、各地の多種多様な土質や地形的制約、降雨などの気候的な制約への対応や、軟弱地盤対策、切土法面対策など、道路土工技術の基本となった。また、大型施工機械の導入による施工の効率化は、それに伴う品質管理手法の技術向上にも大きく寄与してきた。

本稿では、これまでの高速道路における土工技術の中で、盛土工の施工、品質管理の変遷について紹介する。

2. 機械化施工の変遷

(1) 名神高速道路時代以前の盛土施工

現在では、道路土工といえば機械化施工による短期間の施工が思い浮かぶが、道路土工という言葉が使われるようになったのは、昭和26年頃と言われており、歴史は比較的浅い。当時の我が国の道路状況は、昭和31年のワトキンス調査団報告書の冒頭の言葉「日本の道路は信じがたいほど悪い。工業国にしてこれほど道路を無視している国はほかにない。」で象徴されるように道路整備が遅れた状況であった（写真—1）。



写真—1 国道20号線（塩尻付近）の状況

調査団の来訪と同時期に日本道路公団（以下「公団」という。）が発足し、名神高速道路の建設へ邁進していくこととなる。しかし、当時の道路土工は、人力と小規模な施工機械が中心のものであり、効率的とはいえなかった。

我が国ではじめて本格的に機械施工を導入したのは、公団が昭和31年に着手した雲仙道路である。施工機械には6t級ブルドーザ、0.3m³級のショベル、5t級のダンプトラックを採用した。

その後、昭和32年には、横浜新道の建設において建設省土木研究所、日本機械化協会等の協力と指導のもとに、13t級ブルドーザ（この当時は排土板の操作をワイヤーとウィンチで実施するタイプで、米軍からの払い下げ品であった。）、キャリオールスクレーパによる道路工事が実施された。また、関東ロームを機械施工で手際よく処理するため、ディーゼルロコ（ディーゼル機関車とトロッコの組合せ）を併用した（写真—2）。これらの機械施工においては、品質管理手法に

締固め管理が採用された。この工事を通じて、国産、外国製の施工機械の比較が行われ、わが国の建設機械の性能向上の基盤を築いた。

(2) 名神高速道路時代の盛土施工

名神高速道路建設では、これまでの道路土工工事とは異なり、立体交差が採用されたため土量が増加し、短期間に約2,800万m³に及ぶ土工量の処理や、路面の平坦性を確保するための品質向上、あわせて経済性が必要であったことから、積極的に機械化施工が採用された。

また、均一な品質を有する盛土を効率的に確実に構築するために、機械施工とともに、厳密な施工管理が必要不可欠であった。そのため、土の締固め等に関する土質工学理論を基に室内試験を予め行い、場合によっては現場で試験盛土を実施・検証することで、実際の設計、施工管理に反映していった。写真—3は、機械施工による土工工事の基準や施工管理手法を確立



写真—2 横浜新道のディーゼルロコでの施工



写真—3 名神高速道路の山科地区試験盛土

表—1 締固め機械および品質管理手法の変遷

	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
背景	名神高速道路		縦貫道（東北道・中国道ほか）				横断道 他		新東名・名神 他				
	東名・中央高速道路												
	確実な施工 2,800万m ³ /9年		急速大規模土工 6,700万m ³ /7年		東名・名神技術の拡大		施工機械の開発 施工機械の大型化・自動化		品質の向上 コスト削減 効率化		更なる品質の 向上・効率化		
締固め層厚 (路体)	20cm以下		30cm以下				土砂 30cm以下 岩 50cm以下		締固め機械と材料の組合せにより決定				
主な 転圧機種	20t※機械重量 タイヤローラ						200kN※起振力 振動ローラ		200kN※起振力 振動ローラ 300kN※起振力 振動ローラ（厚層施工）				
主な品質 管理手法	品質規定方式（突き砂法） 【点管理】						品質規定方式（R I法） 【多点・平均値管理】 または 工法規定方式（タスクメータ法） 【稼働時間管理】		施工規定方式 (GPS法) 【面的管理】		性能規定方式（路床） (ローラ加速度応答法) 【面的管理】		

するために先行着手した名神高速道路山科地区の試験盛土区間の状況である。

こうした結果、名神以前の道路土工工事とは異なり、盛土材料を1層1層、平坦に敷均し、十分な転圧により構築する盛土工事が実施されるようになった。

表—1は、名神時代から現在までの締固め機械及び盛土路体部における締固め層厚の変遷である。名神時代の締固め機械は機械重量20tのタイヤローラが主流で、締固め層厚は20cm以下であった。

(3) 東名高速道路時代から平成10年頃までの施工

名神時代に続く東名・中央道の建設においては、基本的には名神において培われた技術の継承のうえに展開されたものである。名神の土工量が9年間で2,800万m³であったのに対して、東名では7年間で約6,700万m³という大規模なもので、機械化施工と大型機械の性能向上により効率的かつ経済的に施工された。

なお、施工機械は名神時代と同じく20tのタイヤローラが主流であった。これは、盛土材料として関東ロームなど高含水比粘性土が多く発生し、このような材料においては、ブルドーザや軽い自走式タイヤローラによって均等に踏み固めるのが最も効果的であったことによる。また、締固め層厚については、名神時代の一層20cmに対して、東名時代ではこれまでの経験を踏まえて一層30cm以下に変更され、効率化が図られた(写真—4)。



写真—4 タイヤローラによる転圧状況 (ローム)

昭和60年以降の横断道等の施工においては、建設の主体が山岳部へ移行したことにより、多種多様な材料が発生し、特に硬質な岩の破碎材料が大量に発生した。このような材料に対する締固め効果を向上させるため、締固め機械は、起振力200kN振動ローラが現場での主要機械となった。なお、締固め層厚については、東名・中央道以降と変わらず30cm以下の施工がされてきた。

(4) 新東名・新名神高速道路の盛土施工

新東名・新名神は、現在の東名・名神に比べて、緩やかな平面・縦断線形を採用し、かつ路線の大部分が山岳部を通過しているため、構造物比率が高く、土工も長大切土、高盛土が連続している。とりわけ休憩施設の盛土は、1箇所あたりの土工量が数百万m³に達する高盛土・大規模盛土である(写真—5)。



写真—5 高盛土の施工例 (新東名高速道路静岡県内)

このような大規模土工においては、施工をより確実に迅速かつ安全に実施するため、大型施工機械による厚層締固めを採用している。表—2は大規模盛土で施工機械の編成例を示す。通常の施工では、締固め層厚は路体で30cm以下としている。しかし、より大型の締固め機械が開発されている状況を反映し、種々の盛土材料に対して、それに適した締固め機械、締固め方法を確認するため、平成7年度より起振力300kN級以上の締固め機械を用いて、一層仕上がり厚さ60~90cmで試験施工を行った(写真—6)。その結果、

表—2 従来盛土と大規模盛土の施工機械比較

作業内容	従来機種	大規模盛土の大型機種	台数/セット
砕岩及び集積	32t級リッパ付きブルドーザ	60t級リッパ付きブルドーザ	1台
掘削及び積込み	バケット容量1.2m ³ ショベル	バケット容量3.0m ³ ショベル	1台
運搬	11t級ダンプトラック	46t級ダンプトラック	4台
敷均し	21t級ブルドーザ	32t級ブルドーザ	1台
締固め	200kN級振動ローラ	300kN級振動ローラ	1台

路体の一層仕上がり厚さ 60 cm による締固めが十分可能であることを確認し、土工工事の効率化と経費節減が進められてきている。



写真一六 300kN 級振動ローラでの厚層施工

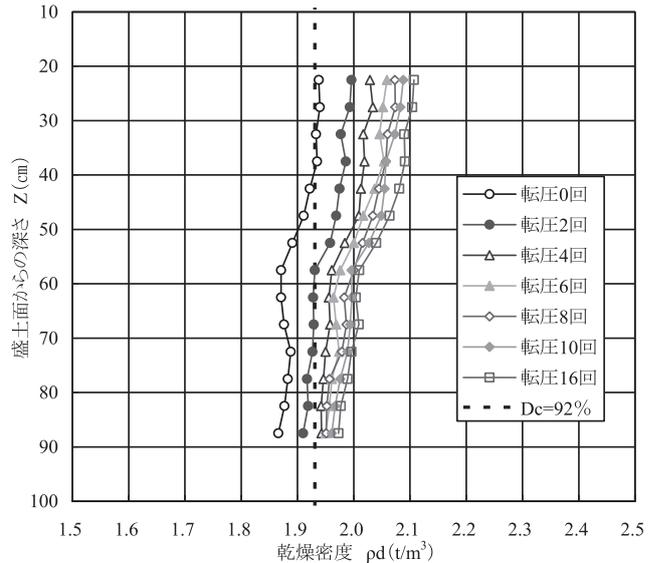
(5) 最近の盛土施工の取り組み

最近の高速道路の建設では、新東名・新名神のような大規模土工において、より一層の品質向上や施工の効率化が求められている。そこで、最近の取り組みのひとつとして八角形振動ローラを用いた盛土転圧試験を紹介する。

八角形振動ローラとは、振動ローラのドラムの形状を従来の円形から八角形にした特殊な振動ローラで、盛土深部まで転圧効果が高いとされている（写真一七）。盛土転圧試験の結果、試験した土砂材料では、下層まで締固められていることを確認した（図一）。



写真一七 八角形振動ローラ



図一 盛土面からの深さと乾燥密度の関係（土砂）

3. 盛土品質管理の変遷

(1) 名神高速道路時代の品質管理

名神高速道路建設以前の道路盛土に関しては、施工機械と機械の転圧回数のみが規定されている工法規定で、品質の規定は用いられていなかった。しかしながら、高速道路の場合、盛土の沈下は路面の平坦性を損なうことになり、高速走行の安全性、快適性が問題となる。このため、十分な締固めにより沈下を極力少なくすることが、高速道路の盛土に必要な条件と考えられた。

このような締固めの重要性から、当時、土の締固め等に関する土質工学の知見を取り入れた品質管理規定を採用した。また、施工管理は、名神高速道路試験所（現在の株高速道路総合技術研究所）を主体として、各工事事務所に試験室を設け、材料試験、日常管理試験の一部を公団技術者自らで実施していた。

以後、我が国における道路盛土の締固めに対する認識が高まり、道路土工指針類の整備・向上と相まって道路土工の質が大きく向上することとなった。

(2) 東名高速道路・中央道時代の品質管理

東名・中央道時代では施工管理体制が大きく変わった。これまでは、公団職員による日常管理・品質検査であったものが、原則として請負人が行うこととし、公団職員は、その立会いもしくは必要に応じた試験や、抜き取り的な検査を実施することとなった。このような背景には、当時の社会情勢等の理由により、急速な道路整備網の整備が求められたことや、電源開発・名

神高速道路・東海道新幹線などの大規模工事での経験が請負人に蓄積され、品質管理体制が整ってきたことによる。

(3) 横断道時代の品質管理

横断道時代になると、山岳部を通る道路工事が主流となり、さらに扱う土工量が増大してきた。このため、公団において、盛土の品質管理手法として、放射線を利用した土の密度・水分計（以下「RI計器」という。）による締固め度測定方法が開発された。従来の砂の置換による突き砂法による締固め管理では、施工ヤードのある1点における点管理であり、しかもその結果は施工翌日の判断であった。しかし、RI計器の導入により施工ヤードの多点での品質確認が施工直後に判断でき、品質管理の迅速化・効率化・省力化が進んだ。また、この手法によって、締固め度の管理基準は、施工ヤード全体の平均値管理の概念が採用された。一方、密度測定が困難である岩塊盛土の品質管理手法として、締固め機械の稼動時間を管理する工法規定方式も基準化された。

(4) 新東名・新名神高速道路時代の品質管理

さらなる大規模盛土の施工となると、大型施工機械の採用による施工能力の増大に対して、RI計器での測定頻度およびその作業能力では、作業範囲が広くなったため、今まで以上に労力・時間を必要とされることや、品質を向上させるため、施工ヤード全体の面的な管理を目指したいといった課題があった。そこで大規模盛土の広範囲な施工を管理する施工管理法として、GPS（汎地球測位システム）を用いた盛土の締固め管理システムが導入された（写真—8）。これは、施工ヤード全体における締固め機械の走行軌跡、転圧回数、締固め層厚および走行速度をリアルタイムに確



写真—8 GPSを用いた施工状況

認できるものである。このような情報通信技術を用いて施工転圧回数を規定する方式（施工規定方式）によって、品質規定方式や工法規定方式では、困難であった施工ヤード全体にわたる面的かつ連続的な管理が可能となり、盛土の高品質化が図れるようになった。さらに、施工状況の確認はオペレータ自身が車載モニターによってリアルタイムで確認でき、かつ管理帳票の自動出力ができるため、施工管理の効率化・省力化が可能となっている。

(5) 最近の品質管理の取り組み

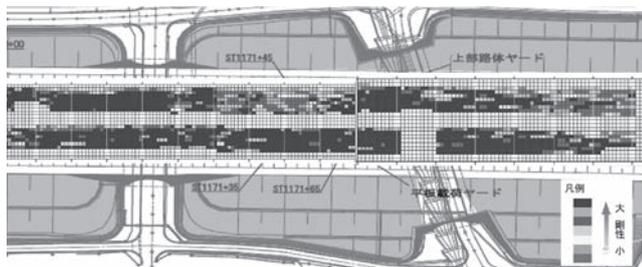
GPSは厳密には締固め度や強度などを管理していないが、新たな施工管理手法として、振動ローラの転圧による地盤応答特性を利用した締固め自動管理手法がある。これは、振動ローラに加速度計を取り付け、転圧中の加速度波形の変化（みだれ）を周波数分析することで、地盤の剛性を計測するものである（写真—9）。この手法は、地盤からの応答加速度が、地盤の剛性が高くなるに従い高周期の波形が上昇する特性を利用し、地盤剛性値などを定量的な指標として表し、面的かつ連続的、リアルタイムに計測できるものである。



写真—9 振動ローラの加速度計取り付け状況

高速道路における路床の最終検査として、強度確認としてのたわみ規定が用いられている。これまでは路床最終仕上がり時には、プルフローリングによる立会い検査を実施していたが、地盤応答特性を利用した手法では、施工箇所全面の剛性評価が可能である。図—2は、位置情報を併用した場合の路床剛性値のアウトプットの一例を示している。これまでに、東・中・西日本高速道路会社では、この手法を路床の検査手法のひとつとして導入している。現在、地盤の強度を直接確認できる手法として、路床以外の適用性について、

種々の盛土材料での試験施工を実施している。機会があれば、これらの結果についても紹介していきたいと考えている。



図一 位置情報を併用した路床剛性値の表示例

4. おわりに

高速道路における土工技術は、土質工学の理論を現場に適用すべく、実際の現場で試験施工を行い、機械施工やその品質管理手法について逐次検証しながら築かれたものである。名神高速道路建設から現在に至るまで、施工規模の増大とともに、それに対応する施工機械の開発やその活用、さらにはそれに合わせた品質管理手法が発展してきたといえる。

現在においても、複雑多様な性質を持つ材料や地盤に対する土工技術は、現場の積み重ねが重要であり、これらに基づく工学的判断が優れた土構造物を生み出

すものと考えられる。一方で、少子高齢化社会においては、省力化・自動化といった技術開発が望まれている。より効率的で経済的な土工技術の向上のためにも、新しい施工機械の開発や情報通信技術を活用した施工方法の開発を期待したい。

JCM A

《参考文献》

- 1) 藤岡一頼・大窪克己：道路における盛土構造物の変化・変遷 (社)地盤工学会誌 土と基礎 54-9 (584) p16-18, 2006.9
- 2) 横田聖哉・吉田武男・吉田安利・鬼木剛一・三浦悟：施工規定方式における品質管理基準値の設定とその評価 (社)地盤工学会誌 土と基礎 50-9 (536) p7-9, 2002.9
- 3) 竹沢正文・井口忠司・藤岡一頼・小林修：八角形ドラム振動ローラを用いた試験施工結果 (その2) —三種類の材料による比較— (社)土木学会 第62回年次学術講演会
- 4) 東・中・西日本高速道路株式会社 土工施工管理要領

【筆者紹介】



横田 聖哉 (よこた せいや)
 (株)高速道路総合技術研究所
 道路研究部 土工研究室 室長



中村 洋丈 (なかむら ひろたけ)
 (株)高速道路総合技術研究所
 道路研究部 土工研究室 研究員

大口徑岩盤削孔工法の積算

——平成 20 年度版——

■内 容

平成 20 年度版の構成項目は以下のとおりです。

- (1) 適用範囲
- (2) 工法の概要
- (3) アースオーガ掘削工法の標準積算
- (4) ロータリー掘削工法の標準積算
- (5) パーカッション掘削工法の標準積算
- (6) ケーシング回転掘削工法の標準積算
- (7) 建設機械等損料表
- (8) 参考資料

- A4 判 / 約 240 頁 (カラー写真入り)
- 定 価
 非会員：5,880 円 (本体 5,600 円)
 会 員：5,000 円 (本体 4,762 円)
 ※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。
- ※送料は会員・非会員とも
 沖縄県以外 450 円
 沖縄県 340 円 (但し県内に限る)
- 発刊 平成 20 年 5 月

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>