厚層締固めによる盛土構造物の力学挙動と

その管理基準に関する研究

学位論文内容の要旨

わが国における盛土構造物の構築においては、盛土材料や盛土の構成部位に応じて締固め機械が選定されている。特に高速道路のような土工量の多い工事では、一般的に転圧力 200kN 振動ローラが用いられ、日本道路公団設計要領や道路土工指針では盛土路体の締固め層厚を 30cm 以下と規定し、所定の密度以上となるよう締固めを行うものとしている。この層厚規定は、締固め層厚 30cm 以上となる場合、下層部へ伝達される締固めエネルギーの減衰により層内密度の大部分は管理基準値を下回るという理由から定められている。しかしながら、30cm の締固め層厚においても、深さ方向の密度は上層が高く下層ほど低くなるものが認められ、盛土材料により程度の差こそあるが、層内の密度分布は必ずしも均一ではない。

ところで、現在の高速道路建設は急峻な山岳部を通過する路線が主体であり、取扱う土量はこれまで以上に増大している。そのため、これらの盛土では現地発生材を有効に活用するため、これまでの高速道路では類の無い大規模な高盛土が数多く計画されている。当然ながら、施工の効率化を図るため大型施工機械が導入され、月当りの掘削・運搬能力もこれまで以上に向上している。しかし、盛土施工は上述した締固め層厚規定のまま行われており、両者の施工能力にアンバランスが生じている。したがって、このアンバランスを解消する締固め施工技術、つまり締固め施工能力の向上を目的とした盛土の厚層締固め技術を確立することが、更なる効率的な施工を可能とし同時に経済性の向上も図られるものとして期待される。

しかし、上述したように転圧をともなう締固めでは、深度方向への締固めエネルギーの減衰に伴い層内に密度勾配が生じることから、厚層締固めではさらにこの現象が顕著になると考えられる。また、これまでの高速道路盛土の構築においては、このような締固め層内に生じる密度勾配が盛土の要求機能である安定性や残留圧縮沈下に及ぼす影響を考慮した設計はなされていないのが現状である。

このような背景から、本研究では締固め層厚をこれまでの 2 倍とした厚層締固め施工（層厚 60cm）においても、今までの設計・施工による盛土と同様なパフォーマンスを保証する品質管理基準を確立するため、密度勾配を有する盛土の安定性に関する評価を行い、さらに圧縮沈下特性を考慮した品質管理基準の提案を行った。

本論文は、以下に示す 7 章から構成されている。

第 1 章では、関連する既往の研究をレビューし、本研究の目的を位置付けた。

第2章では、高速道路盛土の設計法とその品質管理の現状として、盛土構造物に求められる要求性能を明らかにすると共に、その設計法及び品質管理の基本的な考え方を整理している。また特に、高盛土及び大規模盛土に付加されるべき設計上の留意点を詳細に述べている。

第3章では、厚層締固めに用いる大型締固め機械(転圧力300kN振動ローラ)の性能評価を行うため、従来の主流機である転圧力200kN振動ローラ1機種と大型化された転圧力300kN振動ローラ7機種を用い、粒度の異なる3種類の地盤材料を対象に含水比を変化させた室内土槽転圧試験を実施した。これにより、締固め層厚及び含水比の違いによる締固め効果を明らかにするとともに、機械諸元の相違に基づく性能を明らかにしている。さらに、日本全国26箇所の高速道路建設現場において原位置転圧試験を実施し、その結果から材料特性の違いによる層内密度分布特性を詳細に調べ、原位置締固めによる密度勾配の定量評価を試みている。

第4章では、厚層締固めによって生じる盛土内の密度勾配と圧縮沈下挙動に及ぼす影響を解明するため、締固め層厚30cmおよび60cmによる試験盛土を実施し、その動態観測結果から種々の解析を行った。また、密度勾配を与えた供試体による大型圧縮沈下試験を実施し、非水浸および水浸条件下の圧縮沈下特性におよぼす諸要因を詳細に調べた。その結果、①試験盛土から締固め層厚の厚層化による施工においても道路盛土としての十分な機能を満足する検証結果が得られたこと、②室内試験から密度勾配の程度および含水比や材料の違いにより圧縮沈下特性は変化するが、その特性は供試体の平均密度に強く依存する等の知見が見出されている。

第5章では、厚層締固めによる盛土においても、今までの設計・施工による盛土と同様なパフォーマンスを保証する品質管理基準を確立するため、密度勾配を有する盛土の安定性に関する評価・検討を進め、さらに第4章で得られた結果から、盛土体の圧縮沈下特性を考慮した品質管理基準の提案を行っている。具体的には、厚層締固めにより生じた密度勾配の盛土上載荷重の増加に対するその変化挙動を詳細に調べるため、盛土内の密度分布を2孔式RI計器により計測した。また、粗粒材料による締固め密度を変化させて実施した三軸圧縮試験より得られたせん断強度特性に基づいて、密度勾配を考慮した盛土の安定解析を行った。厚層締固めにより構築された盛土内の密度分布の結果から、施工初期に生じた密度勾配の盛土工の進行にともなう変化は認められず、同様な密度勾配を有したまま密度が増加すること、また円弧すべり面法による安定解析から、このような密度勾配の違いが盛土の安定性に及ぼす影響を定量的に解明している。

第6章では、第5章で提案した品質管理基準により管理された盛土のパフォーマンスを評価している。第二東名高速道路浜松・浜北サービスエリアで、厚層締固め(締固め層厚60cm)による実盛土を構築し、層別沈下量の実測値から双曲線法により推定される残留圧縮ひずみは構築後1年程度で収束することが示されている。また、粗粒材料により構築された既存盛土(締固め層厚30cm)との比較から、厚層締固め盛土においても高速道路盛土に要求される圧縮沈下性能を十分にクリアできることが明らかにされている。さらに、盛土内ボーリング調査を実施した結果から、厚層締固めによる盛土の強度・変形は従来施工による既存盛土と同等以上のパフォーマンスを有することが示され、提案した品質管理基準の妥当性が検証されている。

第7章では、各章で得られた結論を総括し、今後の展望と課題について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 浦 清 一
副 査 教 授 石 島 洋 二
副 査 教 授 三 田 地 利 之
副 査 助 教 授 石 川 達 也

学 位 論 文 題 名

厚層締固めによる盛土構造物の力学挙動と その管理基準に関する研究

近年の高速道路建設では、急峻な山岳部を通過する路線の選定が余儀なくされている。このような地点の盛土では現地発生材を有効に活用するとともに、これまでの高速道路では類のない大規模な高盛土工が必要になっている。そのため、掘削・積込み・運搬に関する大型機械の能力を積極的に活用し、盛土の施工において効率化を計ることが重要である。しかし現在の一般の盛土工では、締固め層厚を30cm以下とすることが仕様で規定されているために、新たな管理基準を策定しない限り合理的な施工の実現は難しい。したがって、このような状況を解消する一つの方策として盛土の厚層締固め技術を確立することが緊急の課題となっている。

一般に、転圧をともなう締固めでは深度方向へのエネルギー減衰のため盛土層内に密度勾配が生じることから、厚層で締固めを行う場合にはこの現象が更に顕著になると予想される。これまでの高速道路盛土の設計ではこのことについての考慮はなされていないが、締固めを厚層化した場合、もたらされる密度勾配が盛土の安定性や残留圧縮沈下性状に及ぼす影響は無視できない問題となる。

このような背景から、本論文は厚層締固め盛土工（層厚60cm）の可能性を地盤工学的に明らかにするため、大型締固め機械の性能評価および任意の密度勾配を有する盛土の沈下特性や安定性能を詳細に研究するとともに、厚層化盛土の品質管理基準の提案を行ったもので、7章からなっている。

第1章では研究の背景および目的と論文の概要を述べている。第2章では高速道路盛土の設計法の現状と盛土構造物に求められる力学的性能を明示するとともに、高盛土及び大規模盛土工において考慮されるべき設計上の留意点を詳細に述べている。第3章では締固め層厚、含水比および施工機械諸元の違いに着目した室内土槽転圧試験及び原位置転圧試験から、大型機械による厚層締固めによって構築された盛土の実挙動を紹介するとともに、締固め層内に生じる密度勾配の定量的評価法を示している。第4章では、盛土の圧縮沈下挙動に及ぼす密度勾配の影響を現地試験盛土および大型圧縮沈下試験の結果と考察から明示している。第5章では盛土

の安定性に及ぼす密度勾配の影響を室内試験および数値解析から検討を進めるとともに、前章で明らかにされた密度勾配の影響を考慮し、高速道路が満たすべき力学的性能を確保する厚層締固め盛土の品質管理基準の提案を行っている。第6章では提案した管理基準による厚層締固め盛土で得た種々の動態観測および原位置試験結果より、管理基準の有用性を検証している。第7章は結論であり、得られた知見を総括するとともに、今後の展望と研究課題を述べている。

本論文の各章で示された成果を要約すると、次のようである。

- (1) 厚層締固めでは、層内深度方向において無視できない密度の低減が誘発される。その分布性状は盛土材料の示標特性や含水比の値に強く依存する、また原位置において密度が低減する割合（密度勾配）は最大で $0.8 \text{ g/cm}^3/\text{m}$ 程度となる、などの事実が明らかにされた。なお形成される現場密度は、300VR級の締固め機械の採用により、締固め層厚 60cm までは高速道路盛土の路体部に要求される値に到達することを、一連の原位置転圧試験より示している。
- (2) 異なる管理基準に基づいて構築した厚層締固めによる盛土および任意の密度勾配を与えた供試体による大型土槽転圧試験から、沈下挙動に及ぼす密度勾配の影響は確実に存在するが、層内の平均密度を増加させることにより、均質な締固めによる盛土と同レベルの最終沈下量にすることが可能であることを見出している。
- (3) 締固め時に生じた密度勾配は盛土構築後においても存在することが試験盛土より示された。このような密度勾配を有する盛土構造物の安定性を評価するために、種々の構造条件と種々の盛土材料について解析的研究を進め、均質な密度で作られた盛土と同等の強度安全率となる盛土が保有すべき密度勾配と盛土高さの組合せを見出すことに成功している。
- (4) 以上の研究結果を踏まえて、厚層締固めによる高速道路盛土の品質管理基準を提案している。この管理基準により設計・施工された実盛土は、供用上満足すべき力学性状を示すことが一連の動態観測および原位置試験結果から確認されている。

これを要するに、著者は、これまで未解明であった締固め層内に生じる密度勾配が盛土構造物の力学挙動に及ぼす影響とその評価法を一連の実験と解析によって明らかにするとともに、密度勾配を考慮した厚層締固め盛土の管理基準の提案を行い、さらにはその有用性を実盛土の動態観測および原位置試験から示しており、地盤工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。