

戦-1 盛土施工の効率化と品質管理向上技術に関する研究（1）

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：技術推進本部先端技術チーム

研究担当者：藤野健一、茂木正晴、大槻崇

【要旨】

現状の盛土締固め施工では、技術基準によって、適切な施工管理が行われているものの、供用後に地震・豪雨等の災害等による崩壊や経年的な部分沈下が発生している。これについては、施工時の品質の均一性確保・脆弱箇所への把握がなされていないことに課題があるものと考えられる。

そこで、本研究では、盛土締固め施工時において、品質の均一性確保のための施工手法及びそのための施工機械の最適な選定を実現することを目的として、締固め機械特性に関する基礎データ収集のための実験等を実施した。この実験では、施工時に使用される締固め機械の性能と品質（締固め状況）の実態及び施工対象となる土質に応じた適切な締固め機械の特性（締固め性能の確保）について明らかになった。また、施工管理については、施工手法及び品質管理手法からの提案によって、バラツキを最低限低減させるための確認手法について締固め実験等により明らかにし、均質な品質確保、性能の維持を図るものとした。

キーワード：盛土締固め、締固め性能、校正試験、土圧、加速度

1. はじめに

河川・道路土工において盛土の締固めは、工事において主要な部分であり、土構造物として河川堤防や道路の重要な機能を負っているものである。

盛土締固め施工では、技術基準・施工指針等に基づき施工及び施工管理が行われており、機械施工を中心としている。現在、情報化施工が普及する中で、盛土締固め施工及び品質確認に関しては、様々な締固め機械や品質管理手法が民間企業によって試行・運用されている。

しかし、これらの試行データは特定の企業内データであることから公表が難しいとともに、そこで使われている機械や管理手法が公式な標準施工法となっていないため、基礎的な盛土締固め施工に関するデータの集約と使用する締固め機械の体系化がなされていない状況にある。

さらに、道路土工施工指針に基づき締固め作業及び締固め機械の選定を行っているが、指針の運用から30年余りが経過している。従って、その後に改良・改善が図られた締固め機械の性能は十分に反映されていない。

そこで、盛土締固めにおける品質向上を目的として、この指針の内容に関する現時点における修正を通じて、施工手法及び品質管理手法に関する研究を進めるものである。

本年度は、盛土締固め施工時において対象となる土質

に応じた締固め機械を選定し、適切な品質を確保するための手法を提案するため、実験により基礎データの収集を行った。

実験では、土木研究所構内の土工実験棟試験ピットに基礎地盤を作成し、各種締固め機械の特性を明らかにするための校正試験を実施し、今後の研究を進めるうえで必要となる土中土圧及び加速度データを収集した。

2. 研究内容

本研究の流れを図-1に示す。本年度は実験対象とする締固め機械・土質条件の選定を行い、校正試験を実施し、各種締固め機械における締固め能力について、土中土圧及び土中加速度により評価を行った。

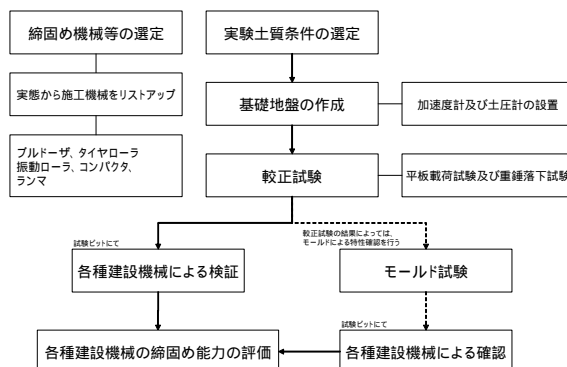


図-1 実験の流れ

2.1 締固め機械の選定

盛土締固めの実験に使用する機械としては、広く利用されている機種を選定した。

また、選定に当たっては、道路土工施工指針に基づいて適切な機種を選定し、規格に関しては、機械施工を行う際に最小の規模から試験ピットでの実験が可能となる範囲内での機種を選定した。

- ブルドーザ 2機種 (3t, 7t)
- ロードローラ 1機種 (10t)
- タイヤローラ 2機種 (3t, 10t)
- 振動ローラ 4機種 (2.5t, 4t, 9t, 11t)



写真-1 締固め機械

2.2 実験土質条件の選定

土質条件については、現場での標準的な土質 (砂質土、礫質土、粘性土) のそれぞれについて検討する必要性が考えられるが、本年度は基礎データとして、砂質土 (江戸崎砂) を対象土質として実験を進めた。

以下に実験の対象とした山砂の性状を示す。

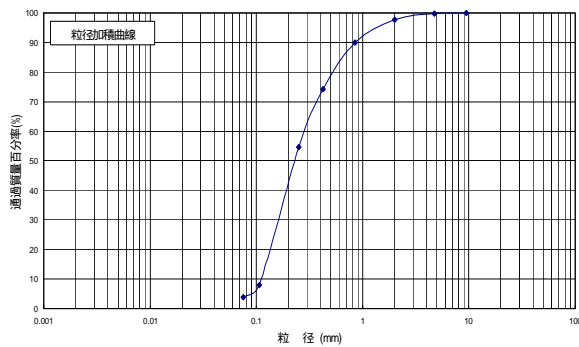


図-2 粒径加積曲線

また、対象となる砂質土については、予め含水比調整を行い、概ね 15%未滿になるように調整を図った。

2.3 地盤の製作と実験のための各種センサの埋設

実験は土木研究所構内の土工実験棟試験ピットにて行った。実験に際しては、図-3 に示す試験地盤を予め製作し、較正試験並びに締固め検証を行った。

実験において必要となるデータを収集するため、試験

地盤内に土圧計 (10t) と加速度計 (5G) を埋設した。

土圧計及び加速度計は、図-3 に示すように較正試験に使用する地盤 0.3m 毎 2 層の各々 3 箇所に埋設した。

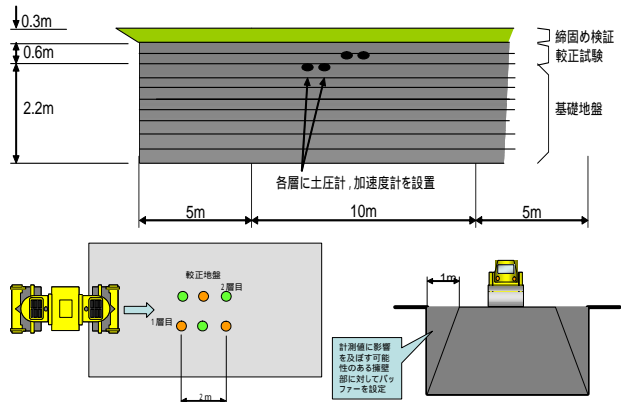


図-3 実験用地盤の製作

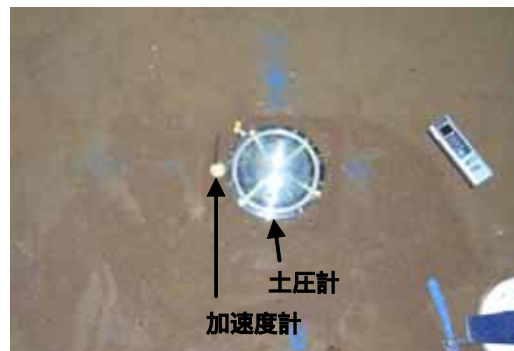


写真-2 土圧計及び加速度計の埋設

2.3 計測機器

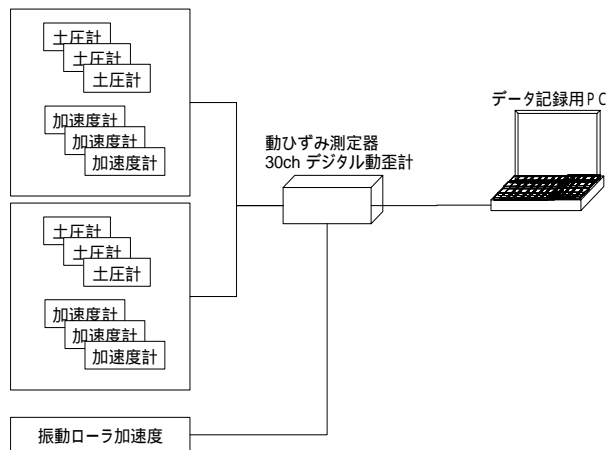


図-4 計測機器構成

2.4 較正試験

締固め機械の持つ締固め能力を計測するために、地盤と締固め機械を関連づけて較正試験を実施した。

試験に際しては、平板載荷試験（静的）及び重錘落下試験（動的）によって地盤中に生成される圧力，加速度を図-4 で構成する計測機器により測定し、その値と機械が発生した値との比から、施工機械が地盤表面に発生させた力の時間波形を推定した。

データ取得に際して、図-6 に示すように 1 層目 (No1,2,3)及び2層目 (No4,5,6)に埋設した土圧計・加速度計により計測を行った。

得られたデータは、動ひずみ計を介して記録を行い、データに基づき、土圧及び加速度に関する較正率を導き出した。

各種締固め機械の性能試験に関しては、較正地盤上を走行させた際に発生する土圧及び加速度を計測した。

本研究では、平板載荷試験（静的）及び重錘落下試験（動的）によって導き出された較正率と各種締固め機械から発生する土圧及び加速度により締固め機械の性能評価を行った。

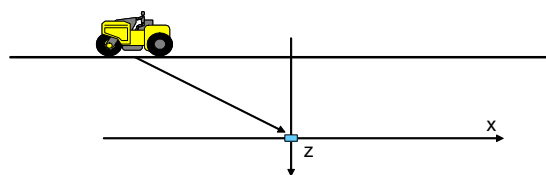


図-5 イメージ図

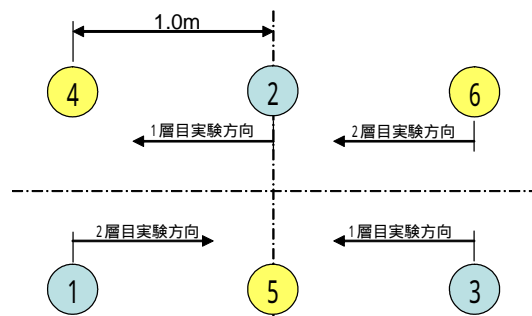


図-6 計測位置配置図

2.4.1 平板載荷試験

写真-3 に示すように平板載荷試験を実施した。平板載荷については、油圧発生装置により載荷重を 200kgf ピッチで載荷を行った。最大荷重としては、2,000kgf までとして計測を行った。計測はロードセルにより載荷重の計測及び試験時の荷重管理を行い、試験地盤に埋設されている土圧計により伝達される荷重計測を行った。

実験ケースに関しては、図-6 に示すように 1 層目は No2, No3、2 層目については No1, No6 のセンサ位置直上から 0m, 0.075m, 0.15m, 0.3m, 0.4m, 0.5m ピッチにて計測を

行った。



写真-4 平板載荷試験状況

2.4.2 重錘落下試験

写真-3 に示すように重錘落下試験を実施した。重錘重量 30kgf を低・中・高（それぞれ約 5cm, 10cm, 15cm）の高さより落下させ、重錘本体の衝撃加速度と試験地盤土に埋設された加速度計により加速度計測を行った。

実験ケースに関しては、図-6 に示すように 1 層目は No2, No3 のセンサ位置直上から 0.05m ピッチにて計測を行った。



写真-4 重錘落下試験状況

2.4.3 各種締固め機械による性能試験

写真-1 に示す、締固め機械 9 機種を用いて写真-5 に示すような性能試験を実施した。

実験は、表-1 に基づくケースにより実施した。計測は、1 層目及び 2 層目とし、埋設されている土圧計及び加速度計の真上を通過させ計測を行った。実験ケースは、各種締固め機械の走行速度を一定（概ね 3km/h ~ 6km/h）に保ちながらエンジンスロットルを低・中・高と変化さ

せ計測を行った。

また、走行時の計測にあたり、計測走行距離 10m の管理を「開始点・中間点・終点」の 3 箇所に変位計による通過カウント管理を行った。

表-1 使用機械及び実験ケース

使用締固め機械	実験ケース
3tブルドーザ(D21P)	低スロット
7tブルドーザ(D31PX21)	
10tロードローラ(R2)	中スロット
3tタイヤローラ(TS160)	
10tタイヤローラ(T2)	高スロット
2.5t振動ローラ(SW350)	
4t振動ローラ(SW502)	
9t振動ローラ(SW750)	
11t振動ローラ(ポー马克)	



写真-5 性能試験状況

結果、地中土圧計の直上 0m 地点における、土圧での較正率は、1 層目 : 0.011、2 層目 : 0.029 とした。

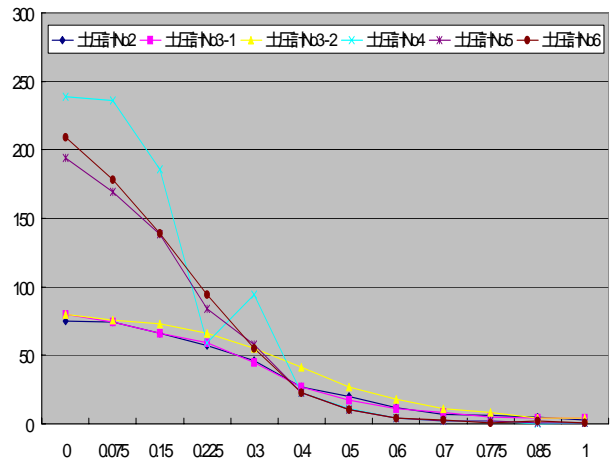


図-7 平板載荷試験結果

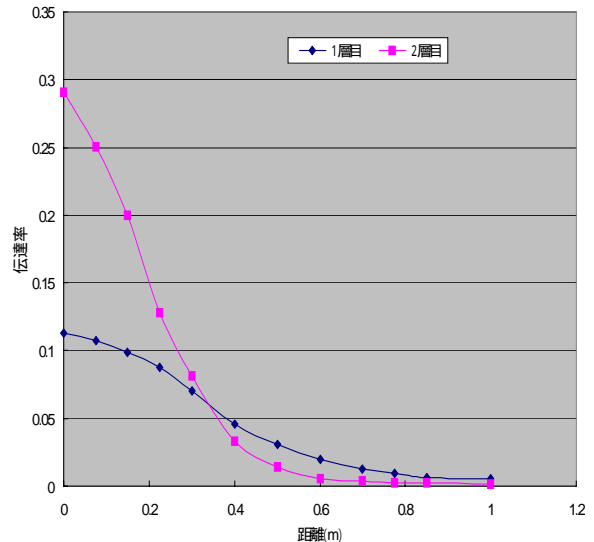


図-8 土圧での伝達率

3. 較正試験結果

3.1 平板載荷試験結果

較正地盤に埋設された土圧計(1層目及び2層目)の計測値を図-7に示す。

図-7に示す計測データは、土圧反応のある距離までの土圧変化を示したもので載荷重 2t における土圧データをプロットしたものである。

各種締固め機械による土中土圧から締固め機械の土圧(静圧)を整理するうえで、データの取りまとめとしては、地中土圧計の直上 0m 地点における最大土圧値を用いて、図-8に示すような較正率を整理した。

整理あたっては、【伝達率 = 土中土圧 / 載荷重】により伝達率の算出を行った。

3.1 重錘落下試験結果

較正地盤に埋設された加速度計の計測値を図-9に示す。

図-9に示す計測データは、重錘落下によって反応のあった加速度値をプロットしたものである。

各種締固め機械による土中加速度から締固め機械の加速度(動圧)を整理するうえで、データの取りまとめとしては、土圧と同様に地中加速度計の直上 0m 地点における最大加速度値を用いて、図-10に示すような較正率を整理した。

ここでの較正率については、重水落下試験での重水加速度と土中加速度計の加速度値に基づき比率を求めると

とした。図-10は、【伝達率 = 土中加速度 / 重錘加速度】により算出した伝達率の値と測定距離（加速度位置から重錘落下地点までの水平距離）の関係を求めたものである。

結果として算出され伝達率については、1層目：1.1、2層目：2.2とした。

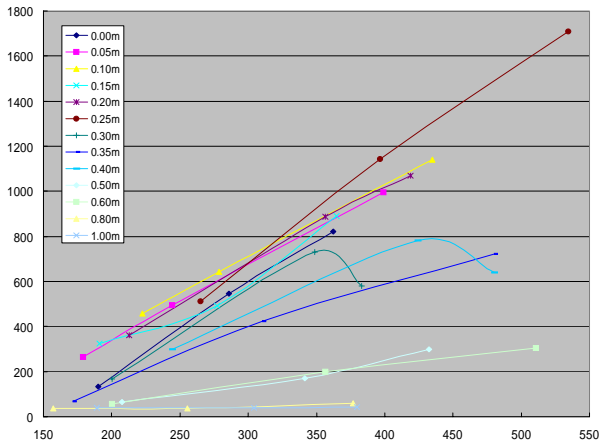


図-9 重錘落下試験結果

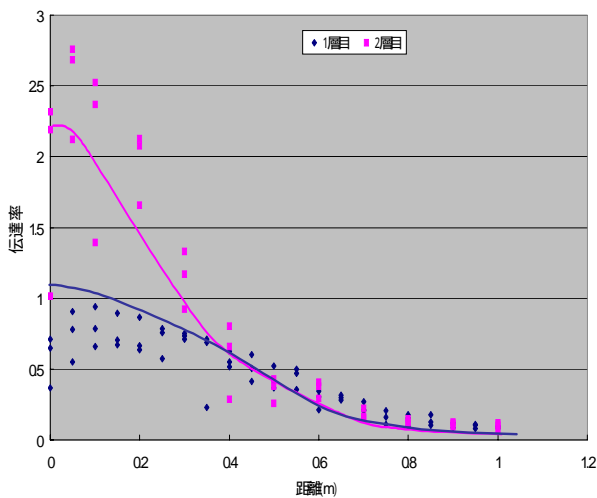


図-10 加速度での伝達率

3.1 各種締め固め機械による性能試験結果

各種締め固め機械に関する土圧及び加速度については、図-11,12の代表例（振動ローラ）に示すように較正地盤に埋設された土圧計及び加速度計に反応していることが分かる。今回は、各種締め固め機械において計測された波形のピーク値を用いて各種締め固め機械から作用する土圧及び加速度を算出し評価することとした。



写真-6 振動ローラによる性能試験

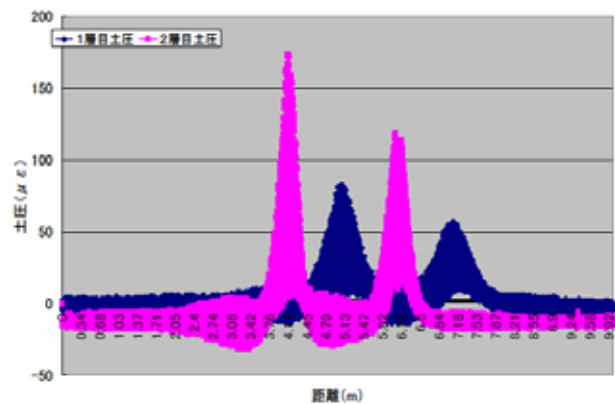


図-11 振動ローラによる土圧波形

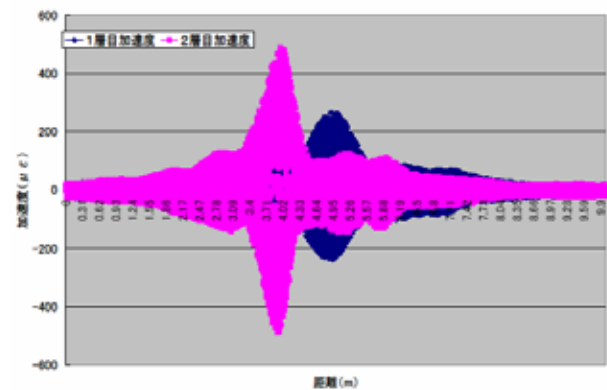


図-12 振動ローラによる加速度波形

3.1.1 各種締め固め機械による土圧

各種締め固め機械による土圧については、図-13に示すように較正地盤に作用する土圧を図-8で算出した較正率に基づき整理した。

【締め固め機械土圧 = 土中土圧 / 伝達率】

土圧に関しては、実験で使用した9機種について土圧が発生していた。

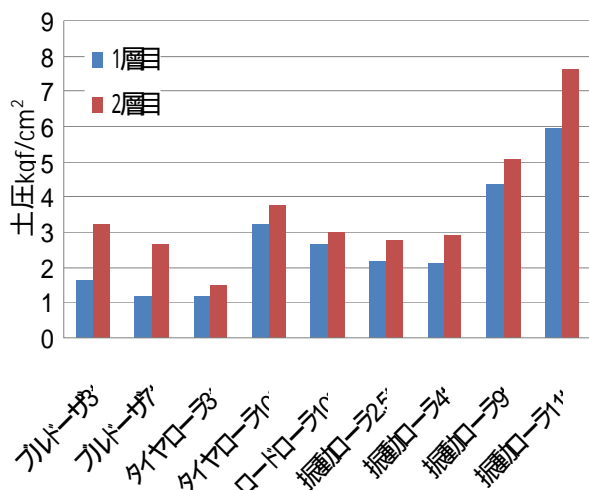


図-13 各種締め固め機械における土圧特性

3.1.2 各種締め固め機械による加速度

各種締め固め機械による加速度については、図-14 に示すように較正地盤に作用する加速度を図-10 で算出した較正率に基づき整理した。

【締め固め機械加速度 = 土中加速度 / 伝達率】

加速度に関して、機構により加速度計が反応する締め固め機械は、ブルドーザ (3t、7t) と振動ローラー (2.5t、4t、9t、11t) であった。

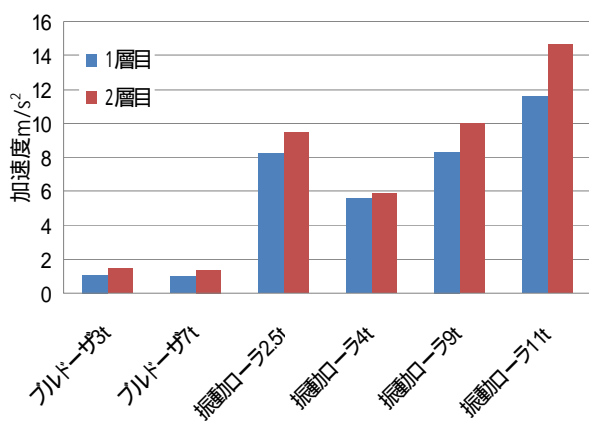


図-14 各種締め固め機械における加速度特性

4. 実験からの考察

本実験によって得られた基礎データを解析した結果、各種締め固め機械の地盤に対する土圧及び加速度の特性を確認することができた。

基礎地盤の総厚は1層目 33cm、2層目 37cm となっており、図-11、12の波形で確認した限りでは、基礎地盤厚に

よって伝搬される能力が半減することが分かった。また、伝搬能力に関しては、土圧及び加速度ともに層厚に対して相関があるものと考えられる。

今回締め固め機械の特性を整理するうえで必要となる土圧及び加速度の基礎データに関しては、以下のように整理・考察した。

静圧を利用した締め固め機械 (タイヤローラー、ロードローラー) に関しては、較正試験によって得られた土圧の伝達率を利用して締め固め機械の特性評価が可能になるものと考えられる。

ブルドーザの土圧に関しては、走行時に履帯によって地盤表層を破壊しており、実験時に層厚によるバラツキが発生しているものと考えられる。同様な傾向は大型振動ローラー 11t クラスにおいても見られる。

加速度の計測結果に関しては、動圧計測時にも利用されている締め固め機械 (振動ローラー、加速度が発生しているブルドーザ) を対象としてデータを整理した。

その結果、図-14 に示す結果から各種締め固め機械から発生する加速度は、較正試験によって得られた伝達率を利用することによって締め固め機械の特性評価が可能になるものと考えられる。

5. 今後の課題

本実験によって整理したデータは、施工速度に関係なく計測データを一律平均化して評価した。なお、取りまとめに使用したデータは標準偏差による確認を行っており、概ね1 の範囲に入っていることを確認した。

今後の実験では、同様な基礎地盤条件下において、速度を段階的に変えた正確な実験・取りまとめ解析を行い、現場での適用が可能となる較正率を整理する必要があるものと考えられる。

また、換算された各種締め固め機械の土圧値は、平板載荷試験の範囲に留まるため、実施工機械の実際的な接地面積と平板面積の比率を推定し、表面土圧を補正する必要がある。この点は、接地面積による地中土圧への影響が問題となることから接地面積で積分する必要があるものと考えられる。

次年度以降に関しては、引き続き基礎データの収集を行うとともにモールド等による簡易的な締め固め評価手法について検討を進めたい。

参考文献

- 1) 土の締め固めと管理, 土質工学会編, 土質工学会
- 2) 道路土工施工指針, 社団法人日本道路協会

Effective construction and quality control for earth structures

Abstract :

Fill soil compaction construction and a technological standard are provided.

However, the disasters etc. such as earthquakes and downpours and trouble by the passing age occur.

These are thought for the problem to exist in neither an appropriate grasp nor a weak part of the quality being understood.

In the present study, it is the one having aimed at the basic data collection concerning the soil compaction mechanical property for the selection of the construction technique for a uniform securing of the quality and the construction machinery when the fill soil compaction is constructed.

The realities of the performance and the quality (soil compaction situation) of the soil compaction machine used when constructing it are clarified.

The characteristic of an appropriate soil compaction machine (secured of the soil compaction performance) corresponding to the type of soil was assumed to be the clear one.

The confirmation technique to decrease the difference at least was clarified by the soil compaction experiment etc. by the proposal from the construction technique and the quality control technique, and the execution management was assumed to be the one to attempt a homogeneous quality securing and the maintenance of the performance.

Key words :

Fill soil compaction, Soil compaction performance, Proofreading examination, Earth load, Acceleration