# 23. 油圧ブレーカの打撃エネルギーを利用したバックホウによる 法面締固め技術の開発

福井大学大学院	○ 小林	泰三
㈱浅川組	谷山	充
九州大学大学院	安福	規之

1. はじめに

近年,道路盛土や河川堤防,宅地盛土等の崩壊 が多発しており, 盛土構造物の要求性能や管理基 準,設計法を見直そうとする動きが見られるよう になった。そのような中,盛土の品質確保に大き くかかわる土の締固めが、"古くて新しい"問題と して、再び注目を浴びるようになってきている。

これまで様々な締固め機械が開発・実用化され てきたが、転圧ローラーに代表されるように、そ の殆どが撒き出し水平面を対象としたものである。 盛土を造成する場合、転圧ローラーなどの重機は 法肩に接近できず、法面付近の締固め管理は実際 上看過されてしまうことが多い。盛土法面におい ては、バックホウによる削り取り整形か築立(土 羽) 整形(図-1(a)) を行った後,植生工等の法面 保護工が施されるのが一般的である<sup>1)</sup>。

著者らの最近の調査によって、従来の築立(土 羽) 整形では、法面の十分な締固めや均質性が保 証できないことが明らかになった(前掲論文<sup>2)</sup>)。 著者らは、法面の締固めが盛土全体の高品質化に 直結する課題であるとともに,法面保護工の選定 (簡易化)にも繋がる重要な施工・管理ポイント であるという認識のもと、法面を効率的に締固め ることのできる技術の開発に取り組んでいる。本 報では、開発した締固め装置の概要と試験盛土を 対象とした実証実験の結果を報告する。

## 2. バックホウを利用した法面締固め装置

本研究では、岩盤の掘削やコンクリートの破砕 に用いられる油圧ブレーカの衝撃力に着目し、こ れを応用した締固め装置を開発した(図-1(b))。締 固め装置は、図-2に示すように、油圧ブレーカと 剛性の締固めプレートを一体化したもので、これ をバックホウに取り付けて地盤に押し付けること により,アーム荷重と衝撃振動力がプレートを介 して地盤に伝わる仕組みになっている。衝撃振動 力による締固め効果の飛躍的向上とアームの自由 度を活かした施工能力の拡大(任意斜度の法面や 狭隘地等の締固め)を期待できる点が特徴である。 なお、ブレーカの振動伝達軸(チゼル)にはひず みゲージが貼付されており,載荷荷重が計測でき る (図-2(b)中の計測ユニットについては後述する)。

本報では、図-2に示す850×850 mmの面積をも っプレートを用いた実験について報告するが,施 工効率の向上を期待して更に大きな面積をもつプ レートの開発研究も進めており、同様の施工性・ 締固め効果が期待できることを付記しておく。

# 3. 試験盛土における実証実験

# 3.1 盛土法面を対象とした実験

本研究では、まず、図-3に示す試験盛土を造成 し、その法面を対象に実証実験を行った。ここで は、図中に示すように、法面を合計15のブロック



(a)法面バケットによる土羽打ち

図-1 バックホウを利用した法面形成・締固め



図-2 油圧ブレーカを利用した締固め装置





図-3 試験盛土法面における実証実験



に分割し,静的初期荷重(振動を付与する直前の 地盤への押付力 F)と衝撃付与時間(以降,締固 め時間と呼ぶ)をパラメータとした締固めを行っ た。静的初期荷重については法肩から上段(Top), 中段(Middle),下段(Low)を区分してそれぞれ に 10, 20, 30 kN を載荷し,締固め時間について は 3, 6, 9, 15 秒とした。盛土を構成する土の基 本的特性については,同盛土を研究対象としてい る前掲論文<sup>2)</sup>を参照されたい。

図-4 は、実験で得られた締固め時間と締固め度 Dc の関係を示したものである。なお、Dc 値は、 施工後の各ブロックおいて行った RI密度計測結果 に基づいて算出したものである。この図から、提 案する締固め手法は、初期荷重によらず、全ての ケースにおいて振動開始後6秒までに Dc > 90% (道路土工などに適用される管理基準値)を達成



図-5 盛立平坦面と試験ブロック





(a)Nシリーズ(クローラから2.4m)

(b)Mシリーズ(クローラから3.4m)



(c)Fシリーズ(クローラから4.4 m)

図-6 盛立平坦面実験におけるバックホウのアーム姿勢

していることがわかる。一方で,静的初期荷重がF = 20 kN および 30 kN のケースについては, 締固め 時間が長くなると逆に密度が低下するという結果 となった。その原因については, 土の粒子破砕や 地盤の破壊による密度低下などが可能性として考 えられるが,本実験においてはその特定までには 至らなかった。

# 3.2 盛立平坦面を対象とした実験

本研究では,締固め効果をより詳細に調べるために,平坦盛土を対象とした締固め実験を行うことにした。試料をよく混合した上で,堅固な地表面上に平坦面を盛り立てることによって,含水比や初期密度の均質化が図れるとともに,撒き出し厚やバックホウのアーム姿勢の違いによる締固め効果を合理的に調べることができる。

盛土は,厚さ30 cm と60 cm の二面とし(図-5), 締固め中心点がバックホウのクローラ位置から 2.4 m (Near), 3.4 m (Middle), 4.4 m (Far) とな るアーム姿勢で実験を行った(図-6)。ここでも前 節の実験と同様,ブロック毎に締固め時間をパラ メータとした締固めを行った。ただし,本実験で は,全てのブロックに対して静的初期荷重をF=20 kN に統一した。実験に用いた土質試料は,前節の 試験盛土と同じである。

図-7 に平坦盛土の実験によって得られた締固め 時間と締固め度 Dc の関係を示す。30 cm 盛土の場 合には, 締固め時間6秒程度までは Dc 値が上昇し, その後は締固めが進行しないのに対して, 60 cm 盛 土の場合には, 締固めを継続することによって多 少ながらも若干の密度増大を期待できることが分 かる。このことから, 6秒程度の締固め時間がひと つの目安になると言えそうである。

また, 撒き出し厚に係らず, 締固め装置を重機 から最も離したケース (Far シリーズ) が締固め効 果が高いことがわかる。アームをある程度伸ばし た方が安定した押付力を確保できることを示唆す るものであり, 実施工時のノウハウとして留意す べき点となるだろう。

図-8は、締固めによる層の圧縮率の変化を表わ したものである。縦軸は、締固め前後の表面高さ を計測し、その差分(表面沈下量)を初期層厚で 除した値(圧縮率)を示している。図中、一部信 憑性の疑わしいプロット(点線囲み)が見られる ものの、それを除けば、大概的には3秒程度経過 すると、圧縮率は初期層厚に依らず同程度となる



図-7 締固め度の経時変化(盛立平坦面)



図-8 表面沈下量の経時変化(盛立平坦面)

ことがうかがえる。このことは,60 cm 程度の厚い 層に対しても締固め効果のあることを示唆するも のと言える。

また,図-7 では Dc 値が収束するのに 6 秒程度 の締固め時間が必要であったのに対して,図-8 で は 3 秒程度で沈下量の収束が見てとれる。図-7 が RI 計測による表層付近のデータであるのに対して, 図-8 は層全体に対する圧縮率である。表層を十分 に締固めるのに 6 秒程度を必要とする一方,層全 体として見た場合,さらに短時間でもある程度の 締固めが行えていることを示す結果と言える。

以上の実証実験により,提案手法には,実用化 に足る施工性(装置の操作性)や締固め効果のあ ることが確認できた。今後は,衝撃振動の伝達特 性や広範な土質条件に対するデータ蓄積を行って 有用性の更なる検証を進めていきたい。

# 4. 締固め進行度のモニタリング手法の提案

### 4.1 モニタリングの原理

本研究では、上述した締固め装置に加え、締固 めの進行をリアルタイムにモニタリングできる装 置の開発に取り組んでいる。モニタリング装置の 併用により、締固めのばらつきやオーバーコンパ クションを防止するとともに、作業時間の短縮化 等が可能になると考えている。

図-9は、その原理を説明した概念図である。モ ニタリングのための計測ユニットは、締固めプレ ートの一部に開口部を設け、板バネに片持ち状態 で連結された剛体をプレート下面に突出させる仕 組みとなっている(図-2)。締固めが不十分な状態 では地盤は軟らかく、突起剛体が地表面に埋没し ている状態になる。締固めの進行によって地盤の 剛性が高まると、反力も大きくなり、板バネに連 結された突起剛体に浮き上がりが生じるはずであ る。浮き上がり量 d と地盤反力(剛性)はフック



の法則に従うものとなるので、d を計測することに よって地盤の剛性変化, 延いては Dc 変化を評価し ようとするのが本手法のアイデアである。Dc 基準 値をクリアする浮き上がり量 dref を予備施工によ って予め求めておくことで,現場土に応じた締固 め完了を示す指標を設定できるようになる。振動 ローラー等のモニタリング手法として多用される 加速度応答の周波数解析等の高度なデータ演算処 理を必要とせず,浮き上がり量の計測だけで Dc をシンプルに評価できる点が特徴である。

### 4.2 実証実験とその結果

本研究では、図-5(a)と同様に 30 cm 盛立平坦面 を造成し、板バネの枚数やバネ長を種々変化させ て剛体の浮き上がり挙動を観測する実験(10 秒間 の締固め)を行った。実験には、直径 50 mm と 100 mm の突起剛体(突起部長さ e<sub>ini</sub> = 20 mm)を用い、 浮き上がり量は板バネに貼付したひずみゲージに よって計測した。

実測された浮き上がり応答の一例を図-10 に示 す。図(a)に示す通り、計測された生データには、 締固めプレートの振動に起因するノイズが見られ るが、これを移動平均処理(前後の値による平滑 化)することにより突起剛体の平均的挙動を抽出 することができる(図(b))。この図から、締固め開 始直後から剛体が浮き上がり,やがて落ち着く様 子が見て取れる。また,直径 100 mm の剛体を利 用した場合の浮き上がり量は直径 50 mm のそれに 比べて顕著に表れることが分かる。これら突起剛 体の応答と実際の締固め度の経時変化の相関性を 図-11 に示す。この図の縦軸は、図-10(b)における d 値ならびに図-7 の Dc 値の最大値がそれぞれ 1 となるように正規化したものである。この図から, 突起剛体の浮き上がり変化と Dc の変化は大概的 に一致していることがうかがえ,このことから, 浮き上がり量 d のモニタリングによって締固め度 の変化を評価できる可能性のあることが分かる。 さらに,先に述べたとおり,突起剛体の浮き上が り量dは、地盤の剛性に比例するはずである。よ って,板バネのバネ定数を検定しておくことで,d から地盤の剛性(反力係数)の評価も行える可能 性がある。ただし、このような力学的地盤パラメ ータを同定しようとする場合には、突起剛体の動 的な運動の影響について詳しく調べる必要がある だろう。

## 5. おわりに

本研究では、法面等を簡便かつ効率的に締固め ることのできる技術の提案を目指して、油圧ブレ ーカの打撃エネルギーを利用した締固め装置およ び締固めの進行をリアルタイムに把握できるモニ タリング装置を開発した。本実験では、任意の固



図-11 突起剛体の浮き上がりと締固め度の相関性

定ポイントに対する実証実験を実施し、基本的な 施工性や締固め効果、モニタリング手法の有用性 を示すことができた。今後は、面的な連続施工の 実現やモニタリング手法のIT化など、本手法の実 用化・高度化を目指した研究を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省HP:施工技術の動向-法面工-, http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kensetsusekou/sekou/dou kou/PDF/houmen01 07a.pdf.
- 2) 安福規之,谷山 充,小林泰三:締固め管理手法に基づくのり面の品質評価とその現状,平成24年度建設施工と 建設機械シンポジウム論文集,2012(前掲論文)