

8章 気液放散整形技術

土を締め固め、土粒子と土粒子の間隙に介在する気体と液体を解き放つ技術をここでは、気液放散技術と呼ぶ。掘削・運搬段階では、土岩に気液を混入させ取扱いを容易にさせるが、盛土段階では安定化のために、再び気液を放出させ締め固める。

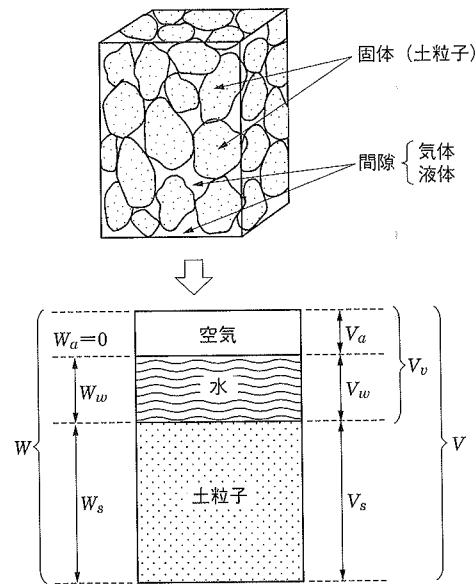


図8.1 土の構成

W : 土の全体質量	V_s : 土粒子の体積
W_s : 土粒子の重量	V_w : 水の体積
W_w : 水の重量	V_a : 空気の体積
W_a : 空気の重量 (=0)	V_v : 土の間隙の体積
V : 土の全体の体積	

土の構成を模式的に示せば図8.1のように表せるが、これらの気液を放散させ密度を増大させると、変形抵抗が大きくなり強度が増し、圧縮性・透水性は小さくなって安定性が増す。図8.2は、同一締固めエネルギーで含水比を変化させたときの締固めのイメージを図化したものである。本図では、(b) の締固め曲線に対応した土粒子と間隙（空気・水）の比率変化(c)と最適含水比での体積変化(a)を示している。(d)は強度・圧縮性・透水性との対応を示している。

一方、整形技術とは大地を切り盛りした後、目的物に形を整える仕上げ技術で、一般的なものとして土工基面やのり面の整形がある。

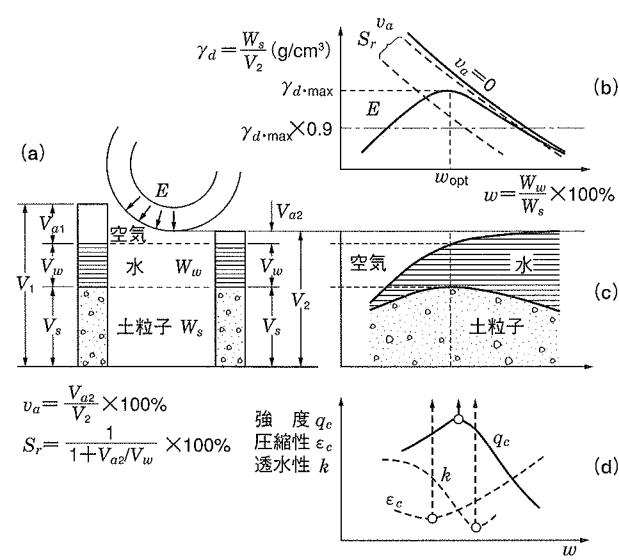


図8.2 締固めと土の性質
 (出典)盛土の調査・設計から施工まで, 土質工学会

8.1 盛 土

盛土には、道路盛土、鉄道盛土、河川堤防、敷地造成、宅地造成、フィルダム、埋立等がある。これらを機能面から大きく分けると、道路盛土や敷地造成のような上載荷重を支える役目の盛土と、河川堤防やフィルダムのような止水壁の役目をもたせる盛土がある。

盛土は合理的な締固め理論に従って盛立を行うが、盛土構築にはその他に下記のような項目を検討する。

- ① 盛土基礎地盤
- ② 盛土材料
- ③ 盛土の安定
- ④ 盛土の沈下
- ⑤ 盛土の排水
- ⑥ 施工性

8.1.1 盛土工の手順

盛土工は一般的に図8.3のような手順で行われる。まず、盛土の準備工として取付道路の造成と基礎地盤処理を行う。また、事前に試験盛土を実施して締固め規定を決定しておく。盛立開始後は、一層ごとに所定の回数の締固めを行い、規定の盛土数量ごとに密度試験を実施して、品質が確保されているかを確認する。これらの手順を繰り返した後、盛立が土工基面に達すると整形仕上げを行って盛土工の完了となる。

8.1.2 盛土構造物の指針・基準類

盛土構造物は、その目的によって、それぞれの発注機関等でさまざまな設計・施工の指針・基準等が定められている。表8.1は各発注機関等で公表されている指針・基準類等の例をタイトルから分類したものである。施工管理において、当該の指針・基準類に従うのは無論、類似工種の指針・基準類も参考にするとよい。なかでも道路土工指針は、長年、土工事のバイブル的な役目を果たしてきていて、道路工事に限らずあらゆる土工事の指標となっているので、押さえておく必要がある。

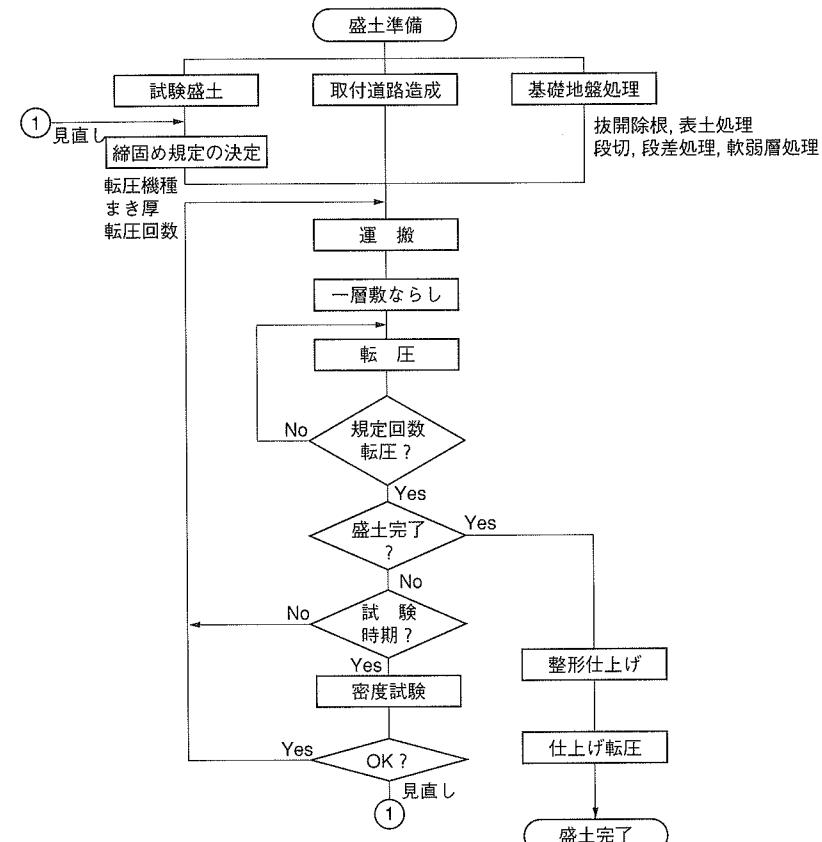


図8.3 盛土工の手順

表8.1 盛土の指針・基準類

種別	制定機関等	指針・仕様書	設計基準	施工管理
土工全般	建設省 農水省構造改善局 北海道開発局	土木工事共通仕様書 土木工事共通仕様書 道路・河川工事仕様書		土木工事施工管理基準 土木工事施工管理基準
道路盛土	日本道路協会 日本道路公団 JH静岡建設局 JH静岡建設局	道路土工指針 土木工事共通仕様書 第二東名高盛土および 大規模盛土設計施工指針(案) 第二東名長大切土のり面設計 施工指針(案)	設計要領第一集 第二東名詳細設計 マニュアル(案)	土工施工管理要領
宅地造成	住宅都市整備公団 住宅都市整備公団 建設省建設経済局	宅地工土指針(案) 工事共通仕様書 宅地防災マニュアル		
空港	運輸省航空局	空港土木工事共通仕様書	空港土木施設設計基準	
フィルダム	建設省河川局 農水省構造改善局 水資源開発公団 日本大ダム会議	土木工事共通仕様書 土木工事共通仕様書 ダム施工マニュアル	河川砂防技術基準(案)設計編 土地改良事業計画設計 基準設計ダム ダム施工要領・同解説 (案)フィルダム編	
河川堤防	国土開発技術研究センター リバーフロント整備センター	河川土工マニュアル	高規格堤防盛土設計・ 施工指針(案)	
鉄道盛土	鉄道総合技術研究センター		鉄道構造物等設計標準・同解説土構造	
港湾	運輸省港湾局	港湾工事共通仕様書 SCOPE		港湾工事施工実務
補強土	土木研究センター 土木研究センター 土木研究センター		補強土(テールアルメ)壁工法 設計・施工マニュアル ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 多数アンカー式補強土壁工法 設計施工マニュアル	
建設発生土	土木研究センター 土木研究センター 土木研究所	建設発生土利用技術マニュアル 発生土利用促進のための 改良工法マニュアル 建設汚泥再生利用技術 暫定マニュアル		

掘削・運搬過程で解きほぐされた土は、盛土の際、再び締め固めて安定させる必要があるが、その方法は盛土の目的に適い、盛土の材質に適した締固め基準と施工法を選定する。

土の締固めは、土を圧縮し、土中の間隙を減少させて密度増加を図るものである。この密度増加により支持力が増し、沈下・吸水性が減少する。したがって、土性を改善して盛土の長期安定を図り、要求される支持力・遮水性を確保することが締固めの目的である。

また、土の性質はさまざまなので、設計・施工に当たっては、事前にその特性を調査しておく必要がある。プロクター (R.R.Proctor:米国) が1993年に土の締固めの原理を発見してから、土の締固めを合理的に行えるようになった。それは、含水比と乾燥密度の関係を締固め曲線(図8.4)で表し、最大乾燥密度 $\rho_{d,max}$ に対する締固め度 (%) とそれに対応する含水比の範囲で締固めを行うものである。

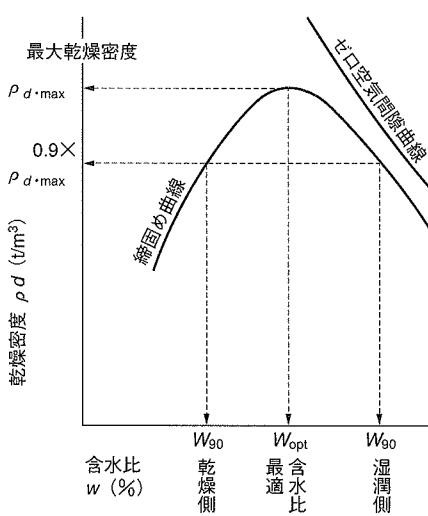


図8.4 締固め曲線

8.2.1 締固め機械

締固め機械は、盛土構造物の強度を高めるために輪荷重・振動・衝撃力等を利用して、土の空隙を減少させ高密度な状態にさせるものである。

締固めを原理的に分類すれば、以下の3種に分けられるが、コンバインドローラのように2種類の原理を組み合わせたものもある。

- ① 静的荷重（輪荷重、自重）タイヤローラ、ロードローラ
- ② 動的荷重（振動）振動ローラ、プレートコンパクタ
- ③ 衝撃的荷重（突き固め）タンピングローラ、タンパ

上記の原理的分類とは別に、機械の形態から締固め機械を分類するとローラ系と平板式に大別でき、一般的に図8.5のような系統に分類されている。さらにこれらは、自走式、けん引式、重量等によっても細分される。

大規模盛土で用いられる締固め機械は、大型振動ローラ、タンピングローラ、タイヤローラ、ブルドーザ等がよく使われ、小規模な埋戻し・裏込めでは、ハンドガイド式振動ローラやタンパ、プレートコンパクタが使われる。

(1) 締固め機械の種類

1) 振動ローラ

振動ローラは、土工・アスファルト舗装、コンクリート（RCC）等の多様な締固めに利用されている。

振動ローラは、鉄輪内の起振機による振動で、自重の1~1.2倍の起振力を發揮する。土粒子を搖すぶって土粒子間の変形抵抗を小さくし、粒子の移動を容易にする。さらにローラ自重でも締め固めるので重量比効果が高い。

適応土質は、礫質系、砂質系に適し、粘性土には不適当である。

土工用振動ローラは1~21tぐらいのものが生産されており、自走式、被牽引式、ハンドガイド式があり、大型のものは最近ほとんど自走式となっている（図8.6）。また、自走式振動ローラでフラットローラタイプのオプションとして、タンピングローラを用意した機種も多くなっている。

ハンドガイド式は、構造物回りの埋戻し等の狭いエリアで使われることが多い。また、被牽引式はウインチを利用して、のり面の仕上げ転圧に使われることがある。

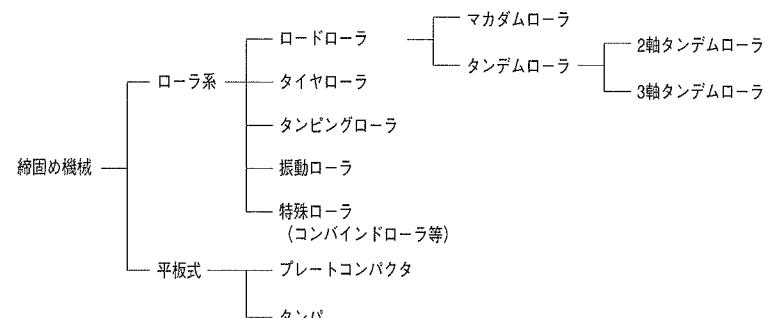


図8.5 締固め機械の分類



図8.6 振動ローラ

2) タンピングローラ

タンピングローラの起源は、羊の足を模したシープフートを鉄輪に多数装着したもので、トラクタにより牽引した。

最近は、矩形のテーパ状のタンピングフートを装着したものが主流で自走式が多く、フィルダムのコア部での締固めには定番の機械である（図8.7）。

タンピングローラは、フートの貫入・攪拌により間隙水を消散させる。フート先端に荷重を集中させて土塊を破碎でき、土丹等のスレーリング性軟岩の破碎・締固めにも有効である。

また、転圧層間の境界が平面とならないため重転圧に効果的である。しかし、逆に仕上がり面が平滑でないので、仕上げ用のフラットローラを別に用意しなくてはならないのが欠点である。

なお、タンピングフートの代わりにチョッパホイールを装着したものは、廃棄物処理場の締固めに利用されている。また、シープフートタイプ（図8.8）は、わが国の粘性土ではこね返しの原因になる場合が多く、今日ではあまり用いられなくなった。

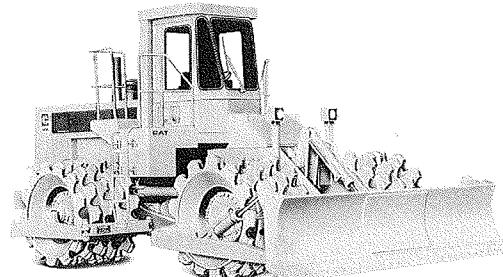


図8.7 タンピングローラ

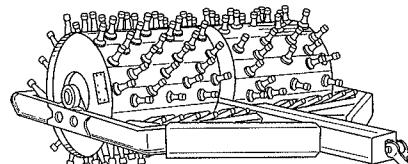


図8.8 シープフートローラ

3) タイヤローラ

タイヤローラは、空気タイヤの特性を活かして締固めを効果的に行うもので、路床・路盤の転圧からアスファルト混合物舗装や表層転圧まで幅広く利用されている。また、水タンクによるバラスト荷重調整が可能で、粘性土、砂質、軟岩等さまざまな土質に適応できる（図8.9）。



図8.9 タイヤローラ

4) ロードローラ

ロードローラは、路盤やアスファルト舗装用の締固めローラで、平滑な鉄輪を装着した2軸、3軸式のタンデム型と三輪のマカダム型がある。また、走行方式に機械駆動式と油圧駆動式がある。締固め能力は一般に線圧で判断する（図8.10）。

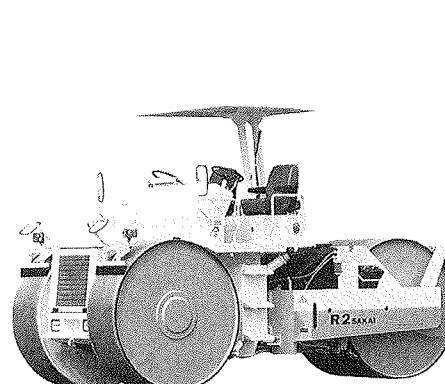


図8.10 マカダムローラ

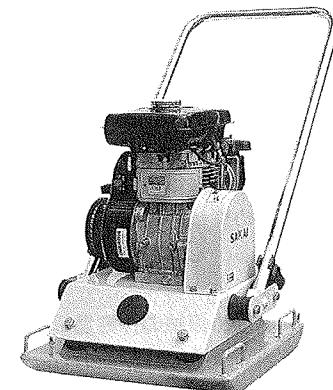


図8.11 プレートコンパクタ

マカダム型は碎石基層等の基層転圧に、タンデム型はアスファルト舗装の仕上げ転圧のほか、ローム質土・粘性土の転圧に向いているとされている。また、3軸タンデム型は、高い平坦性を要求される場合に最適の機種で、アスファルト舗装向きの機種であるが、近年、舗装全般でマカダム型が使われ、3軸タンデム型は姿を消している。

5) ブルドーザ

ブルドーザは本来締固め機械ではないが、敷地造成等ではブルドーザ転圧による設計仕様が多い。特に、トラフィカビリティ確保が困難な高含水比粘性土等の締固めには有効である。また、のり面の締固めには非常に有効な機械である。

6) プレートコンパクタ（振動コンパクタ）

ハンドガイドによるプレート式の振動転圧機を、わが国では振動コンパクタ、プレートコンパクタと呼んでいる。これは起振機を平板の上に搭載し、偏心軸を高速回転させて遠心力を発生させて、その振動により締固めと自走を同時にを行うものである（図8.11）。

構造物の埋戻し等、狭いエリアの締固めに利用できるが、締固め力は弱いので薄層まき厚で締め固める。

7) タンパ

タンパは、動力機関の回転力を往復運動に変えて、コイルスプリングを介して連続的に打撃転圧を行うハンドガイド式のものである。重量は100kg前後のものが多く、構造物の埋戻し等、狭いエリアの締固めに利用し、高含水比の砂質土、粘性土以外の土質に広く利用できる（図8.12）。

また、フィルダムの岩着部でのコンタクトクレイの締固めには、エアタンパがよく使われている。

(2) 締固め機械の選定

締固め機械の選定には、土質、工事規模等の施工条件のほかに表8.2が目安になる。しかし、大規模盛土の場合は、試験施工を行い適正な機種を選定する。

(3) 締固め機械の作業量

締固め機械の作業能力は、仕上がり後の締固め土量（m³/h）あるいは締固め面積（m²/h）で表すのが通常である。作業量の算定式は次式で表される（表8.3、表8.4）。

$$Q = 1000 \cdot V \cdot W \cdot H \cdot f \cdot E/N$$

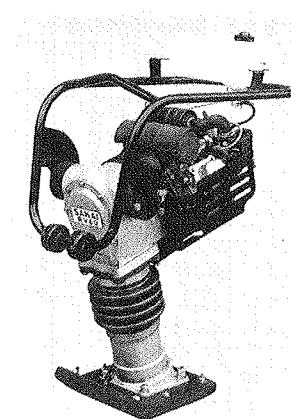


図8.12 タンパ

Q ：時間当たり作業量（m³/h）

V ：作業速度（km/h）

W ：有効締固め幅（m）

H ：まき厚（m）

f ：土量換算係数

N ：締固め回数（回）

E ：作業効率

タンパの作業能力の算定（表8.5）

$$Q = 60 \cdot L \cdot V \cdot E/N$$

Q ：時間当たり作業量（m³/h）

L ：有効締固め幅（m）

V ：作業速度（15m/min）

E ：作業効率 0.3~0.7

N ：締固め回数（回）

8.2.2 材料選定と施工法

盛土材は、現地発生材を流用するのが経済的であり、一般的であるが、土質によっては目的に合わないものがある。事前に工事区域の地質を調べ現地踏査を行う。必要ならば土質調査・試験を実施して土性を把握しておく。

盛土の締固めは図8.3のような施工手順で行うが、所定の品質を得る

表8.2 締固め機械の選定

盛土の構成部分	締固め機械	備考	振動ローラ	自走式被牽引式	自走式ソイルコンパクタ	自走式タンブリングローラ	振動コンパクタ	ランマ・ドンバータ	タイヤローラ	ブルドーザ
			自走式被牽引式	自走式ソイルコンパクタ	自走式タンブリングローラ	自走式コンパクタ	自走式ランマ・ドンバータ	タイヤローラ	ブルドーザ	
			起振力20t級	起振力13t級	起振力5t級	起振力20t級	起振力13t級	起振力5t級		
			100	60	30	30	○	○	○	
盛土路体	岩塊などで、掘削転圧によっても容易に細粒化しない	硬岩	60	60	30	30	○	○	○	
	風化した岩、土丹などで部分的に細粒化してよく締固まる岩など	軟岩 脆弱岩	30	○	○	○	○	○	○	○
	単粒土の砂、細粒分の欠けた切込み砂利、砂丘の砂など	砂 礫混じり砂	30	○	○	○	○	○	○	○
	細粒分を適度に含んだ粒度のよい締固め容易な土、まさ土、山砂利など	砂質土 礫混じり砂質土	30	○	○	○	○	○	○	○
	細粒分が多いが鋭敏性の低い土、低含水比の関東ローム、砕きやすい土丹など	粘性土 礫混じり砂質土	30		○	○	○	○	○	○
	含水比調節が困難でトライカビリティが容易に得られない土、シルト質の土など	水分を過剰に含んだ砂質土	30					●	●	
	関東ロームなど、高含水比で鋭敏性の高い土	鋭敏な粘性土	30					●	●	
	粒度分布のよいもの	粒調材料	20	○	○	○	○	○	○	○
	単粒度の砂および粒度の悪い礫混じり砂、切込み砂利など	砂 礫混じり砂	20	○	○	○	○	○	○	○
	裏込め	ドロップハンマを使うことがある	20	○	○	○	○	○	○	○
のり面	砂質度	○	30	○	○	○	○	○	○	○
	粘性度	○	30	○	○	○	○	○	○	○
	鋭敏な粘土、粘性土	●	30				○		●	

(凡例)○:有効なもの ○:使用できるもの

●:トライカビリティの関係で他の機械が使用できないので、やむを得ず使用するもの

○:施工現場の規模の関係で、他の機械が使用できない場所でのみ使用するもの

大:大型のもの

(出典)日本道路公団:施工管理要領基準集

表8.3 主要締固め機械の諸元

機械名	規格	出力kW(PS)	重量		締固め幅(m)
			自量(t)	パラスト付(t)	
マカダムローラ	8~10t級	66(90)	8.0	10.5	20.4
	10~12t級	66(90)	10.6	12.2	20.2
タイヤローラ	6~8t級	29(39)	6.0	7.9	1.50
	8~20t級	71(96)	14.8	19.2	2.14
	21~30t級	79(107)	17.9		
機械名	規格	出力(PS)	自量(t)	起振力(t)	締固め幅(m)
振動ローラ	3~4t級	21(28)	3.6	3.0	1.16
	5~6t級	55(75)	6.6	19.2	2.12
	11~12t級	101(137)	11.9	24.3	2.12

表8.4 締固め機械の作業速度と効率

機械名	作業速度(km/h)		作業効率E	
	路床・路床	路盤	路床・路床	路盤
マカダムローラ	(2.0)		2.5	(0.4~0.6)
タイヤローラ		3.0	4.0	0.3~0.7
振動ローラ	(1.0)		(0.4~0.6)	0.2~0.6
ブルドーザ	3.5	-	0.4~0.8	-
振動コンパクタ	0.9	-	0.3~0.7	-

(注)()は路床の場合

表8.5 タンバの諸数値

規格	締固め幅(m)	作業速度(m/min)	作業効率E
60~100kg級	0.24	15	0.3~0.7
120kg級	0.26		

ために一定規模以上の盛土においては、盛土に先立ち試験盛土(Trial Embankment)を実施して、以下のような管理基準値を決定する。

- ① 室内試験の材料特性確認
- ② 転圧機の選定
- ③ 施工仕様・品質管理基準の決定

- ④ 転圧回数、まき出し厚、転圧速度
- ⑤ 施工含水比、空気間隙率、飽和度
- ⑥ モデル施工として、作業手順・内容の熟知

試験盛土の形状は、発注者等により試験盛土の標準仕様がある場合はそれに従い、ない場合は1ブロックの盛土幅は転圧機の3倍程度、長さは10～20m程度を目安とする。その他に転圧機の加速・減速区間を付加するといい。

(1) 盛土材の適・不適

盛土に使用する材料は、施工が容易で締固め後の強度が大きく、低圧縮性で雨水の浸食に強く、吸水膨張性の小さいことが望ましい。良質な土質は粒度分布のよい礫質土や砂質土であるが、一方の高含水比粘性土は施工機械によるこね返しで軟弱化し、強度低下して圧縮性も高まる。また、湿地ブルドーザでもしばしば施工不能に陥るので、土性をよく把握して施工法に注意が必要である。

盛土材の品質は目的構築物によって違うが、以下の点に留意せねばならない。

- ① トライフィカビリティ
- ② 安定性
- ③ 支持力
- ④ 沈下・変形

盛土材の適否の判断は、表8.6が参考にできる。この際、ペントナイト・酸性白土・腐植物高含有土、冰雪混じり土等は使用してはならない。切盛流用と捨て土・客土の判断は、土性のほかに資源有効活用や経済性等、総合的に行う。

(2) 基礎地盤処理

盛土に先立ち、表土はぎ等の基礎地盤処理を行うが、その目的は、

- ① 盛土と基礎地盤のなじみを良くする
- ② 草木の腐食等の有害物による沈下防止
- ③ 初期盛土作業の円滑化
- ④ 地盤の安定化と支持力増加

である。また、盛土基礎地盤には沈下や安定性に問題のある軟弱地盤、傾斜不安定地盤があり、堰堤等の場合には漏水やパイピングが問題となる透水性地盤がある。盛土の基礎地盤がこのような場合には、土質調査・水文

表8.6 道路盛土材の適否の目安(道路土工指針)

日本統一土質分類	盛土材料	路床材料	盛土の基礎地盤	備考
(岩塊・玉石)*	△	×	○	破碎の程度によって使用区分を考える
礫 {G}	○	○	○	
礫質土 {GF}	○	△	○	有機質、火山灰質の細粒土を含む(GO, GVなど)ものは盛土材料、盛土基礎としても△
砂 {S}	○	○	○	緩い飽和した地盤では盛土基礎として△
砂質土 {SF}	○	△	○	有機質、火山灰質の細粒土を含む(SO, SV)ものは、盛土材料、盛土基礎としても△、緩い飽和した地盤では盛土基礎として△
シルト {M}	△	△	△	
粘性土 {C}	△	△	△	
火山灰質粘性土 {M}	△	△	△	
有機質土 {O}	△	×	△	
高有機質土 {P}	×	×	△	

○：ほぼ問題がないもの △：注意して用いるか、何らかの処理を必要とするもの

×：用いられないもの (注)*(岩塊・玉石)は日本統一土質分類名ではない

調査等を行い、適切な対策工を施さなければならない。

(3) 材料調整

盛土材は、目的にあった発生材料がない場合に、含水比や粒度の調整、安定処理を改良のために行うことがある。

1) 含水調整

土は最適含水比附近で締め固めたときに最も締まり安定するので、締固め時には施工含水比の範囲が規定されている。含水比調整は、施工時の含水比が規定の範囲外にある場合に行うものである。

フィルダムのコア材は、粒度調整とともに含水比調整を行うのが一般的であるが、一般の盛土において含水調整が厳密に行われているとは言い難い。わが国は多降雨・高湿度で自然含水比が高く、大規模土工での含水比低下は困難である場合が多い。このため、わが国独自の空気間隙率規定・

飽和度規定が生まれ、高含水比粘性土等の現場の締固め基準として適用されている。

含水調整は、事前調整と現場調整があり、散水等による加水と曝気による乾燥がある。現場調整での加水法は散水車やポンプ散水が一般的で、曝気はディスクハロー、ロードスタビライザ、プラウ、リッパ、スカリファイア等を使って搔き起こし、天日乾燥を促す工法である。

また、含水比低下法には、曝気のほかに土取り場でのトレーナー等による排水工法や生石灰等による脱水工法がある。

2) 粒度調整

粒度分布の良い材料は、締固め効果が高く、所定の強度・圧縮性・透水性を得やすい。しかし、このような良質材をどこででも得ることは難しく、必要に応じて粒度調整を行う。

粒度調整には下記の方法があり、現場条件、施工規模等によって選択される。大規模でストックヤード用地が確保できる場合は、ストックパイアル方式で粒度の違う材料を互層に盛り、積込み時にスライスカットして攪拌する方法が一般的で確実である。

- ① 現場混合方式
- ② ストックパイアル方式
- ③ プラント混合方式

3) 安定処理

切盛区間で流用する盛土材料が、高含水比粘性土や強度不足の材料で、客土するには不経済な場合に、材料の改良を目的としてセメントや石灰などによる安定処理工法が行われる。また近年、資源有効活用の見地から捨て土を極力避ける傾向にあり、不良土も改良による有効利用が望まれている。

安定処理には、地山混合と盛土混合があり、セメント系や石灰系の固化剤をスタビライザやバックホウで混合することが多く、規模が大きい場合にはプラント混合が検討される。

- ① 地山混合方式
- ② 盛土混合方式
- ③ プラント混合方式

(4) 特殊土

盛土材として取扱いに注意が必要な特殊土としては、下記のようなもの

がある。

特に施工性が問題になる土質は、火山灰質粘性土でこね返し現象を起こし、湿地ブルでさえトラフィカビリティの確保が困難となる場合がある。このような土質は、できるだけ乱さないようにバックホウ等で積み込み、ダンプトラックで運搬する。したがって、スクレーパや切崩しブルドーザは避けるほうがよい。また、敷ならしも工夫が必要である。しかし、乱れた土も盛土後一定期間放置すると強度が回復していく。この現象をシキソトロピー現象（thixotropy）と称する。

また、泥岩等のスレーキング(slaking)を起こすぜい弱岩は、多大な圧縮沈下のおそれがある。このようなぜい弱岩は、自走式タンピングローラの衝撃力をを利用して強制的に破碎しながらの締固めが有効である場合が多い。

- ① 火山灰質粘性土（関東ローム、愛鷹ローム、鹿沼土等）（図8.13）
- ② 火山成粗粒土（シラス等）
- ③ まさ土
- ④ 高有機質土（泥炭、黒泥、コーラル等）
- ⑤ スレーキング性ぜい弱岩（泥岩等）
- ⑥ 液状化しやすい砂

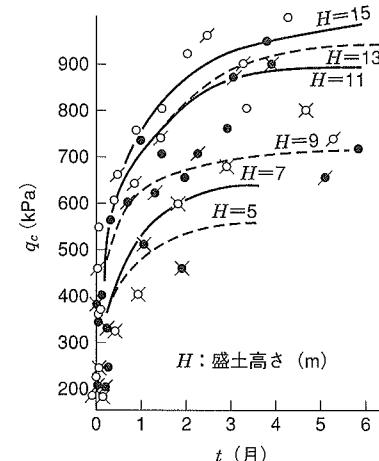


図8.13 愛鷹ロームの強度回復

(5) 特殊箇所

盛土には、一般盛土部とその他の特殊部があるが、以下にそれぞれの特徴と留意点を述べる。

1) 切盛接続部

切盛境では、地山の表土はぎ後、盛土に先行して段切りを行い、切土と盛土部の密着を十分行い、すべりに対する抵抗を増大させる（図8.14）。

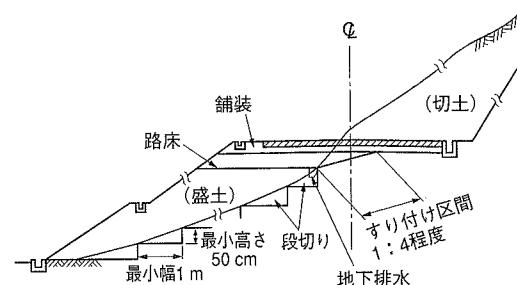


図8.14 段切図

2) のり面・のり肩

盛土が上がるにつれ、盛土のり肩への締固めローラの接近は危険になるので、のり肩部の締固めが疎かになりがちである。したがって、水平締固めとは別に、のり面部の特別な締固めが必要になる。

のり面の締固めには図8.15の方法があるが、以前は（b）のブルドーザによるのり面転圧が一般的であった。しかし、土羽打ちがのり面バケット装着のバックホウにより機械化されて以来、（d）の方法が一般的となっている。

（b）の方法では、盛土が2～3層上がるごとにブルドーザにより繰り返しのり面転圧が行われた。この場合、のり肩部にさしかかったときにブルドーザの全荷重が線荷重でのり肩に掛かるので、のり肩がグッと沈み締固め効果が抜群であった。しかし、最近はのり面バケットでののり面仕上げが一般的になり、バケットが届く範囲での早期の土羽打ちが開始されるので、ブルドーザ転圧が難しくなり、ブル転はあまり行われなくなった。締固めの見地からは一考を要する。

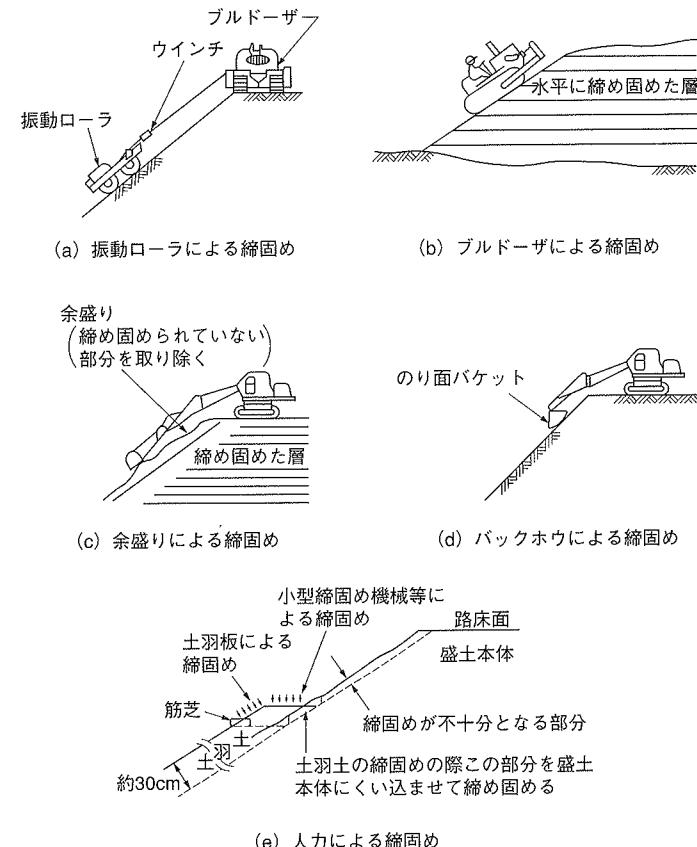


図8.15 盛土のり面転圧の方法

（出典）平間・徳富編 土構造物をつくる新しい技術，山海堂

3) 裏込め・埋戻し

構造物の埋戻し箇所等では、不同沈下による段差が生じやすい。これは場所が狭いため、高まきになりやすく、大きな転圧機が入れなくて十分な締固めが成し難い点にある。また、雨水等が集まりやすく、軟弱になりが

ちである。これらの対策としては、排水性がよく、圧縮性の高い盛土材を使用する。また、狭いところは小型転圧機となるので薄層転圧とする。

(6) 締固め管理

盛土の締固め管理の方法は、図8.16に示すように、品質規定と工法規定に大別される。品質規定法は、乾燥密度規定が基本であるが、高含水比粘性土等では空気间隙率や飽和度規定が適用されることが多い。

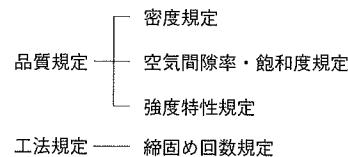


図8.16 締固め規定の種類

上記の空気间隙率と飽和度規定は、以下のような場合に用いられる。飽和度85～95%規定の例を示すと、図8.17の斜線部のようになる。

- ① 高含水比火山灰質粘性土のように最適含水比が自然含水比より著しく低く、施工含水比の低下が困難な場合。また、突固め試験において、試験開始前の含水比の違いによって、最大乾燥密度・最適含水比が大きく変化し、基準密度が定まらない材料。
 - ② 泥岩・凝灰岩等のスレーキング性の脆弱岩。
 - ③ 複数の土質が混じり、割合が一定でなく、基準密度を定めがたい。
- 強度特性規定には、以下のものが仕様書等で示されている。
- ① 地盤係数K値（平板載荷試験）
 - ② ブルフローリング試験（たわみ量）
 - ③ コーン指数（コーンペネトロメータ）
 - ④ 現場CBR試験

工法規定は、盛土の締固めに当たって、使用機種とまき厚、締固め回数を仕様書に規定する方式である。一般的には、試験盛土を行って上記の品質規定を満足する締固め回数を決定し、特記仕様としている（締固め管理の試験法等の詳細は11章を参照）。

また、新しい管理手法として、GPSや自動追尾トータルステーションの

三次元リアルタイム座標測能力を利用して、盛土の座標と締固め回数をリアルタイム管理する方法が導入されつつある。また、日本道路公団ではこれに輪加速度計を組み合わせて、回数管理ではなく、締固め度での管理を研究中である。

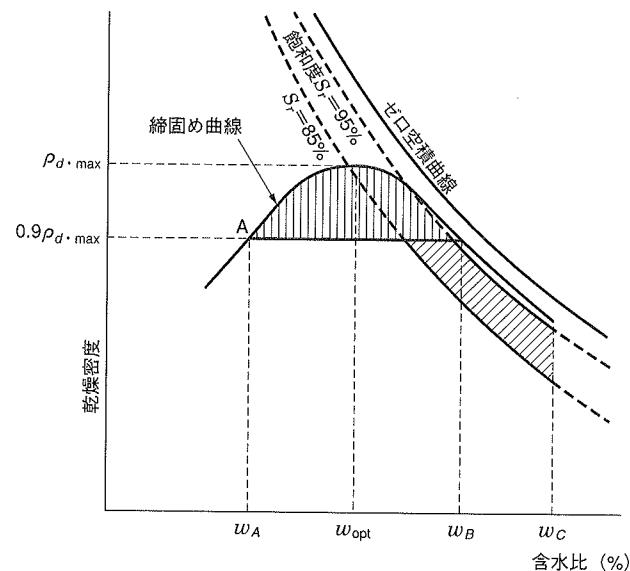


図8.17 締固め施工管理の基準

8.3 敷ならし・整形技術

8.3.1 敷ならし

敷ならしは、ブルドーザやグレーダ等のブレード系の機械で通常行う。盛土材運搬機がダンプトラックの場合には、敷ならしブルドーザは材料の大部分を押さなくてはならない。しかし、スクレーパ系の運搬機械はまき出し・敷ならし機能を備えているので、敷ならしブルドーザは大抵の場合は端掻きだけでよい。また、スクレーパ系は、エジェクタを前に出すことによってならしができるので、走路ならしや作業終了後のならしに使える。

敷ならしは、水平薄層で行い、転圧締固めを十分に行い均質な盛土構造に仕上げることが大切である。傾斜高まきは、盛土の締固めが不十分にな

るばかりか、のり先地盤の隆起、のり面崩壊等の原因となる。

一般的にまき出し厚は土砂の場合、路体で30cm、路床で20cmが標準的であるが、近年、合理化施行の見地から厚層化の研究が行われ、第二東名高速道路工事では、大型振動ローラによる60cmまき厚の新しい基準による締固めが開始された。

8.3.2 整 形

(1) 土工基面の整形

盛土・切土の基準断面形状を土工定規といい、仕上げ面を土工基面（施工基面）という（図8.18）。道路の場合は路床上面がこれに当たる。

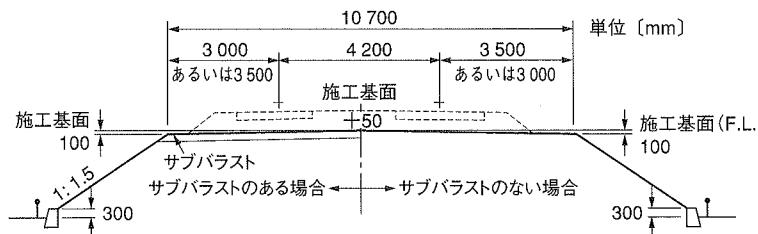


図8.18 土工定規の例(盛土の場合)

土工基面の整形は、雨水による洗掘、水溜まりによる軟弱化の防止にある。また、土工基面整形後に工事用道路として使用する場合は、直ちに路盤材を入れて、車両通行によるわだちやこね返しの防止を図る必要がある。

土工基面の仕上げは、ブルドーザ、グレーダ等のブレード系の機械で整形がなされる。仕上げ精度は、通常、ブルドーザの場合 $\pm 10\text{cm}$ 、グレーダ仕上げの場合は $\pm 5\text{cm}$ ぐらいである。また、高速道路の路床仕上げ精度は、 $\pm 5\text{cm}$ で、平均が+側になるように規定されている。

(2) のり面整形

のり面等の整形は、切り、盛りともにバックホウがよく使われ、仕上げ整形には、のり面バケットが利用される。その他、主に切土ののり面ではブレード系のグレーダやサイドスローパも利用できる（図8.19）。また、軟岩切土ののり面ではツインヘッダも有効である。中硬岩以上の岩盤ののり面仕上げには、制御発破であるプレスプリットが効果的である。

その他、切土ののり面においてはラウンディングを施す。また、軟弱地

盤上の盛土では盛土後ののり面勾配を1分位余計（ $1:2.0 \rightarrow 1:1.9$ ）に立てておき、上越し（余盛り）を行うとよい。



図8.19 サイドスローパ

(3) 宅盤整形

宅地造成においては、土工事の最終段階で宅盤整形、ロット割を行う。

切土部は、上部から宅盤整形（雑壇造り）、道路抜きを併行して行い、盛土部は、道路の路床面盛土後に宅盤部を盛り立てる。

これらの宅盤整形は、綿密な計画の基に行わなくてはならない。この整形手順を誤ると手戻りとコストアップにつながる。赤字工事の大部分はこの詰めの甘さにある。

土運搬が終わってから宅盤整形に入るのでは遅い。土運搬の最終段階で宅盤整形に掛かって行く。仕上がり地形を睨み、切土宅盤、盛土宅盤のそれぞれの攻め方を決める。運土計画に、仕上げ手順を考慮した運土手順を組み込んでおく必要がある。宅地造成では、土量の変化率の違いによる切盛りバランスの調整を宅盤高さの修正で調整することが多い。

したがって、前もって調整区域を決めておいて、そのエリアを最後に運土するように考慮しておく。

(4) 整形機械

1) ブルドーザ

土工基面からののり面整形と面的に広い範囲の整形に適する。また、ゴルフ場や造園においては、小型ブルドーザでマウンティングやアンジュレーション等の造形を行う。

2) モータグレーダ

モータグレーダは、その名のとおり自走式の平面ならし機で、ブルドーザより精度を要求される路床や路盤の仕上げによく使われる。モータグレーダのブレードは、操向前輪と駆動後輪をつなぐフレームの下にあり、機械的に車体の揺動に対してブレードが安定していて、精度の高い仕上げが行える（図8.20）。

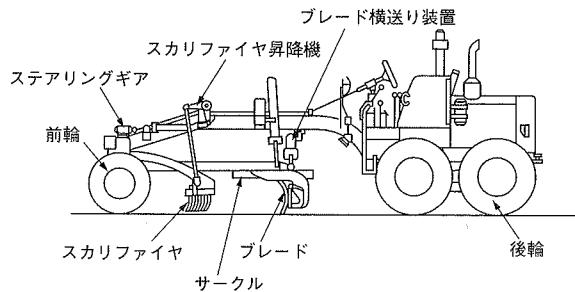


図8.20 モータグレーダ

グレーダのブレードは図8.21のように動作する。その他にスカリファイア、前輪リーニング、アーティキュレーション等のグレーダに特徴的な各装置の姿勢を目的的の作業に合わせて行う。

モータグレーダのフレームは、一体式から図8.22のようなアーティキュレーション（車体屈折）式が一般的になってきた。操向とアーティキュレーションを併用して曲がると急旋回が可能である（図B）。また、オフセット走行（図C）によって、ウインドローヤ不正地部に車輪を乗り上げずに走行が可能で、施工精度が向上する。

3) パックハウ

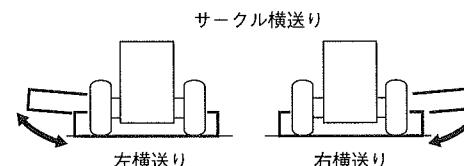
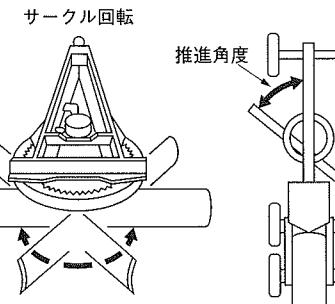
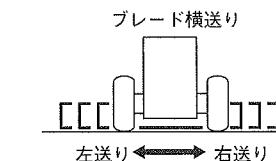
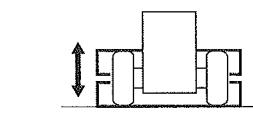
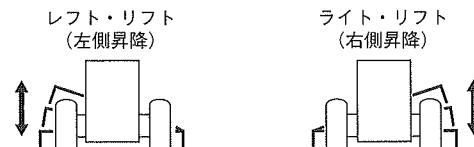
切土・盛土の面整形のほか、根切り・壺掘り等の局所的掘削整形が行える。また、岩盤においてもアタッチメントのブレーカーやツインヘッダを装着すれば整形が可能である。

4) その他

a) エレベーティングスクレーパ

米国では、エレベーティングスクレーパは非常にポピュラーな機械であるが、道路の路床掘削や路盤の粗仕上げにもエレベーティングスクレーパ

ブレード昇降

図8.21 ブレードの操作
(出典) (財)建設物価調査会：建設機械施工技術の基礎知識

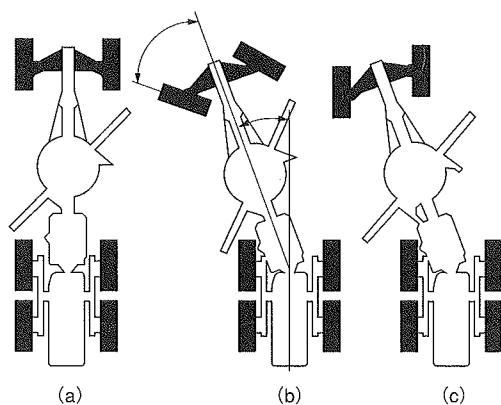


図8.22 アーティキュレート姿勢



図8.23 エレベーティングスクレーパ

がよく利用されている（図8.23）。

b) ベースペーパ

路盤材の敷込み等にベースペーパやフィニッシャが利用でき、ダンプトランクやグレーダが入れない急斜面で威力を発揮する。

8.3.3 作業能力の算定式

(1) ブルドーザの敷ならし作業能力

$$Q = 10E (A \times D + B)$$

Q ：時間当たり作業量 m^3/h

D ：まき出し厚（締固め後の厚さ）m

E ：作業効率（0.4～0.8）

A, B ：敷ならし係数（表8.7）

表8.7 敷ならし係数

機種	規格	敷ならし係数	
		A	B
ブルドーザ	3t級	4	3
	6 "	7	5
	9 "	9	7
	11 "	11	8
	15 "	13	9
	21 "	18	13
湿地ブルドーザ	13	10	8
	16	13	9

(2) グレーダの作業能力

1) 作業量を面積で表す場合（道路補修、整地）

$$A = 1000 \cdot b \cdot V \cdot E/N$$

2) 作業量を体積で表す場合（敷ならし）

$$Q = 1000 \cdot b \cdot V \cdot H \cdot f \cdot E/N$$

Q ：時間当たり作業量 (m^3/h)

b ：ブレードまたはスカリファイアの有効幅 (m)（表8.8）

V ：平均作業速度 (km/h) 不陸整正：2～3 km/h 敷ならし：1.5～2.5 km/h

H ：敷ならし仕上がり厚 (m)

f ：土量換算係数

E ：作業効率 不陸整正：0.35～0.85 敷ならし：0.35～0.75

N ：敷ならしまたは搔き起こし回数 (回)

不陸整正：敷ならし回数 3～5回

" " : 搔き起こし回数 2～3回

敷ならし：敷ならし回数 5～14回

表8.8 ブレード有効幅

作業種類	推進角度	ブレード有効幅						
		2.8m級	3.1m級	3.4m級	3.7m級	4.0m級	4.3m級	4.9m級
硬土の切削	45	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	3.2
軟土の切削	55	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.2	3.7
土寄せ	60	2.1	2.4	2.6	2.9	3.4	3.4	3.9
仕上げ整地	90	2.5	2.8	3.1	3.4	4.0	4.0	4.1

$$\text{ブレード有効幅} = (\text{ブレード幅} \times \sin\theta) - (\text{重ね幅} 0.3\text{m})$$

8.3.4 自動化技術

面仕上げのインジケータとして古くから回転式レーザ受光器が使われている。装着例としては、ブルドーザ、グレーダ、モータスクレーパ、BGスクレーパ、バックホウ等があり、制御装置と連動した自動化も行われている(図8.24)。また、バックホウではマイクロプロセッサを利用して、ブーム角・アーム角の角度演算による掘削・のり切り等のバケット制御もわりと古くからオプション化されている(図8.25)。

最近は、GPSや自動追尾トータルステーションの位置計測技術と設計CADの座標データを照合して、インジケータにブレード操作の指示を表示するものや、一歩進んで自動仕上げを行うシステムが現れてきた(図8.26)。

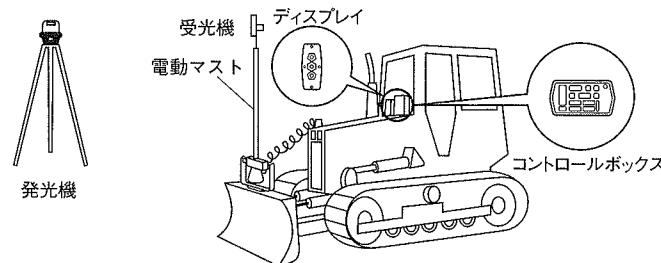


図8.24 ブルドーザ装着例(Spectra-Physics社)

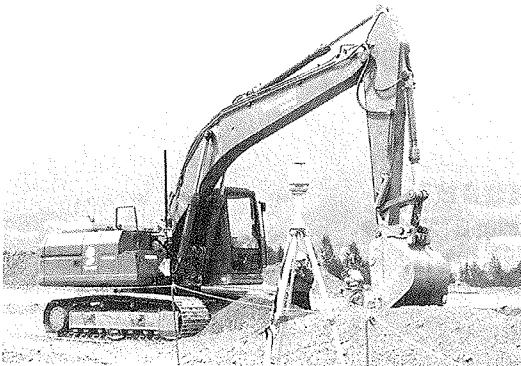


図8.25 バックホウ装着例



図8.26 GPSコントローラ(Trimble社)