

堤体施工における転圧ローラのコーン指数と締固め性能の関係



はじめに

堤防やため池の盛土工事では、不透水性を確保するために細粒分の多い土を使い最適含水比より湿潤側で施工されることが多い。この場合、土が軟弱となるため、敷き均しおよび締固め施工に使うブルドーザや転圧ローラの走破性(トラフィカビリティ)に注意する必要がある。走破性の判定基準にはコーン指数が使われている。文献¹⁾には各種ブルドーザ、ダンプおよびタイヤローラなどが記載されているが、土質条件や機械仕様、および盛土品質の評価に必要な締固め情報は不明である。最近の振動ローラは文献発行当時の機械に比べて締固め性能と走行性が大幅に改良されているので、改めて試験を計画した。本試験前、一連の予備試験²⁾を実施して土の含水比の調整方法とコーン指数の関係を確認した。本試験では文献資料(ブルドーザ15t)との比較ベンチマークとして同等質量の機種(14t)を使用した。試験場は弊社締固め研究センターの専用ピットで、供試土には上記文献で推奨される細粒分の多い土を使い、最適含水比より湿潤側に3条件の含水比を設定した。各含水比に加水調整後、コーン指数を求め、連続8回走破完了した機種の締固め密度と沈下量を測定した。本結果に基づいて、ブルドーザのコーン指数と締固め密度等に対して、各種転圧ローラの結果を比較検討したので、ここに報告する。

供試機械とその仕様

供試ローラは土工用振動ローラ3機種、タイヤローラ1機種、コンバインド振動ローラ1機種、および14t級ブルドーザである。表-1に供試機の仕様を示す。土工用振動ローラSV900DV-1(以降SV-20tと称す)、SV514D(以降SV-12t)およびSV204T(以降SV-5t)は前輪が鉄製振動輪、後輪がトレッドパターン付き空気タイヤを装備する機種で、表-1に示す起振力で振動走行した。タイヤローラTZ704(以降TZ-12t)は前後輪に平滑な空気タイヤを有する。コンバインド振動ローラTW504(以降TW-4t)は前輪に鉄製振動輪、後輪に平滑な空気タイヤを装備する。後輪のみ駆動するタイヤローラ(TZ-12t)を除く他機種は両輪駆動式である。ブルドーザは、文献¹⁾の15t級と比較するため類似質量の湿地ブルドーザD51PX-24(以降D51-14t)を使用した。

表-1 供試機械の仕様

機種名	運転質量 kg	締固め幅/ 履帯幅 mm	起振力 (試験時) kN
土工用振動ローラ (両輪駆動)			
SV900DV-1 (SAKAI 製)	19,980	2,130	343
SV514D (SAKAI 製)	12,000	2,130	255
SV204T (SAKAI 製)	4,770	1,370	72
コンバインド振動ローラ (両輪駆動)			
TW504 (SAKAI 製)	3,500	1,300	34.3
タイヤローラ (後輪のみ駆動)			
TZ704 (SAKAI 製)	12,330	2,275	—
ブルドーザ			
D51PX-24 (KOMATSU 製)	13,820	710×2	—

実験方法

(1) 実験概要

複数の供試機種を対象に3段階のコーン指数の地盤を正確に設定するため、弊社締固め研究センターの試験ピットで実施した。コーン指数は、供試機が所要区間を8回(往復4回)連続で走行した場合、予備転圧後の測定値を採用した。

(2) 試験ピット

試験ピットは長さ20m、幅3m、深さ0.95mのコンクリート製で、予めピットの底部に厚さ44cmの土地盤を締固めて作成した。1回の試験終了後、敷き均し用ブレード付スタビライザ(写真-1、以降スタビ)で加水攪拌しながら含水比を調整し、厚さ約50cmに敷き均した。



写真-1 敷き均し用ブレード付スタビライザ

(3) 供試土

供試土は文献¹⁾の「堤体材料として望ましい土(p.66):細粒分15%以上(不透水性確保)、50%以下(乾燥時のクラック抑制)の土質材料で、分類名では{GF}・{SF}・{M}・{C}に相当する材料」を参考に選定した。

供試土の土質試験結果を図-1に示す。土質分類は細粒分まじり砂{SF}、粒度成分は礫分4.8%、砂分52.6%、細粒分42.6%である。JIS A 1210のA-a法の突き固めによる最大乾燥密度は1.955 g/cm³、最適含水比は13.1%である。

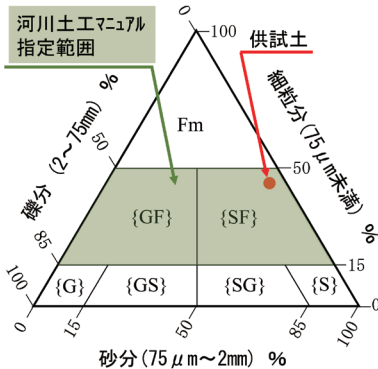


図-1 供試土の土質試験結果

(4) 供試土のコーン指数と含水比の関係

供試土のコーン指数と含水比の関係を捉えるために、「JIS A 1228: 締固めた土のコーン指数試験方法」に則って供試土の突き固め試験を行った。図-2に締固め曲線、目標コーン指数とそれに対応する含水比を示す。含水比の決定時には、締固め度(Dc)90%以上を確保できること、かつ最適含水比から湿潤側にあることに配慮した。3種類の含水比として「w1=13.5%」、「w2=15.5%」および「w3=17.5%」を設定した。

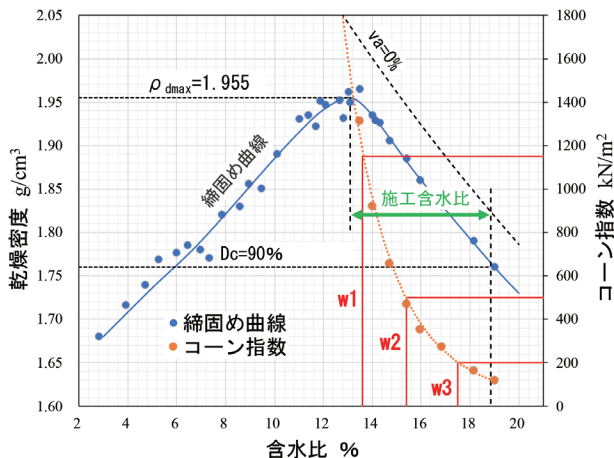


図-2 供試土のコーン指数と含水比の関係

(5) 予備転圧と測定項目

供試土の敷き均し後、静的ローラ(質量900kg、輪径550mm、締固め幅2800mm)により予備転圧した。これは施工現場でのブルドーザによる敷均し時の締固め効果を想定した。予備転圧の終了後、各転圧ローラで試験を実施した。

コーン指数、締固め密度、および沈下量は、予備転圧後「P0」と転圧ローラの偶数回(往復)「P2、P4、P6、P8」に測定した。コーン指数は地盤工学会基準(JGS 1431)のポータブルコーン貫入試験器、また締固め密度は砂置換法(JIS A 1214)で測定した。

(6) 予備転圧後のコーン指数

図-3に予備転圧後におけるコーン指数と貫入深さの関係を示す。含水比と深さに応じて変化するため、代表値は各貫入深さの値を平均して求めた。すなわちw1で359 kN/m²、w2で319 kN/m²、w3で243 kN/m²である。

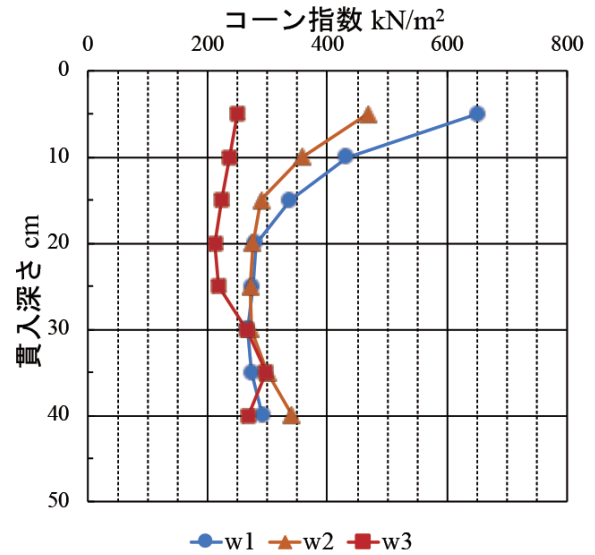


図-3 コーン指数と貫入深さの関係

実験結果

(1) コーン指数と走破性

表-2に3種類の含水比に調整された地盤上における転圧ローラとブルドーザの走破性判定結果を示す。表中の「○」は走破可能、「△」は走破可能であるが、走行速度が遅く実施工に適さない、「×」は走破不能を意味する。

表-2 走破性判定結果

機種	W1	W2	W3
	コーン指数 359 kN/m ²	コーン指数 319 kN/m ²	コーン指数 243 kN/m ²
TW-4t	○	○	○
SV-5t	○	○	○
SV-12t	○	○	○
SV-20t	○	○	×
TZ-12t	○	△	×
D51-14t	○	○	○

土工用振動ローラ3機種(SV-5t、SV-12t、SV-20t)には土工現場における軟弱および不陸な地盤でのけん引力を確保するため前後輪に駆動装置が装備されている。3機種では

SV-20t(運転質量20t)のw3(コーン指数243kN/m²)を除き、全条件で走破可能であった。SV-12tとSV-20t(写真-2と3参照)の走行開始直後(P1)の沈下量を比べると、SV-12tは約5cm(P2では5.1cm)に対し、SV-20tは約15cm(P2測定値は14.5cm)と約3倍も大きい。SV-20tが走破不能になった原因は、約2倍の前輪荷重により沈下量と走行抵抗が増大したためと考えられる。駆動方式が同じ場合、走破性は輪荷重および沈下量に依存すると言える。

次に、駆動方式の違いが走破性に与える影響について検討する。含水比w2(コーン指数319kN/m²)において、SV-12tとTZ-12t(写真-4参照)を比較すると、運転質量12tのSV-12tが「○」で、12tのTZ-12tが「△」であった。P2での沈下量はSV-12tが約11cmに対し、TZ-12tが約12cmとほぼ同等で、走行抵抗は同等と考えられるが、SV-12tの方が優れる結果となった。これはSV-20tが両輪駆動に対し、TZ-12tは後輪駆動のためと考えられる。



写真-2 SV-12t (条件:w3) 【走破性判定:○】



写真-3 SV-20t (条件:w3) 【走破性判定:×】



写真-4 TZ-12t (条件:w2) 【走破性判定:△】

(2) 締固め密度(締固め度)

締固め度と含水比の関係を図-4と5(図-4の拡大)に示す。締固め密度は8回(P8)後の測定値で、w3で走破不能であったSV-20tとTZ-12tを除外した。転圧ローラの締固め度は、w1で98.6~101.2%、w2で95.1~98.7%、w3で90.6~93.2%と全条件において締固め度90%を満足した。特にw1ではSV-12tとSV-5tが約100%と非常に高い。TW-4tはw2とw3とも最大である。これは空気タイヤのニーディング効果と考えられるが、密度測定の範囲外(深さ10cm以下)の密度は低いと考えられる。その原因は次項(3)の沈下量で述べる。一方、ブルドーザD51-14tの締固め度は、w1で89.0%、w2で95.1%、w3で89.4%となり、w2を除き90%を満足していない。また転圧ローラの締固め度より低く、特にw1ではSV-12tやSV-5tと比べて約10%も低い。

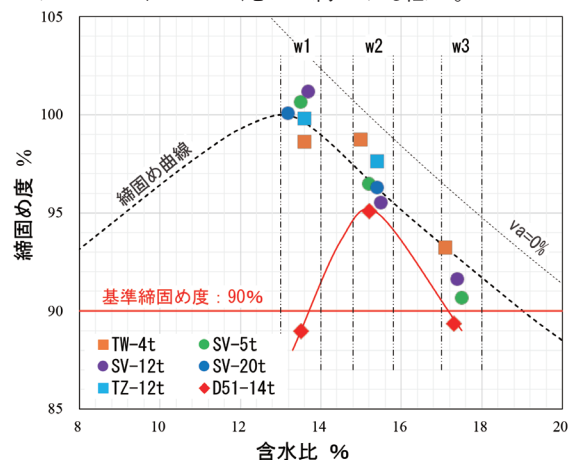


図-4 各締固め機械の締固め度 (P8後)

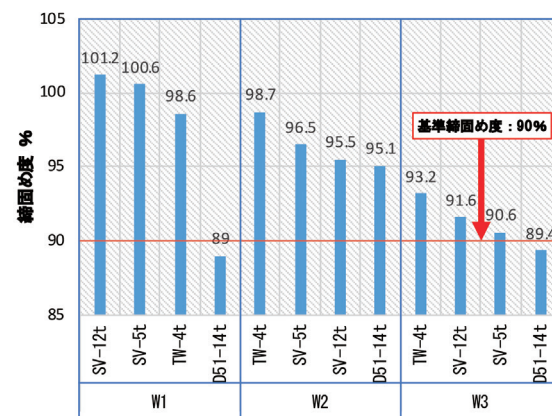
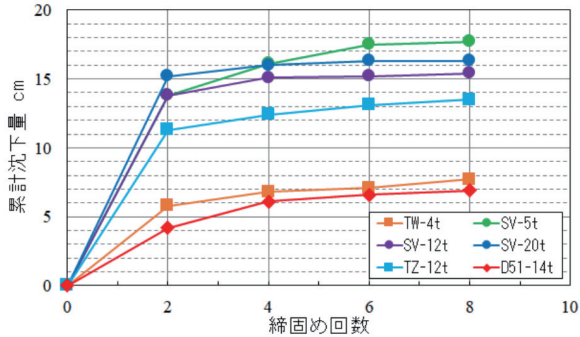


図-5 各締固め機械の締固め度 (図-4の拡大)

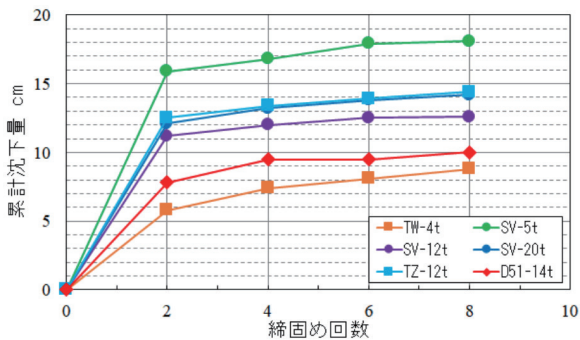
(3) 沈下量

図-6は沈下量と締固め回数の関係で、w1を(a)、w2を(b)、w3を(c)に各々示す。w1ではSV-5tの沈下量が最大(18cm)で、SV-12tとSV-20tはTZ-12tとほぼ同等(約15cm)、さらにTW-4tとブルドーザは共に約8cm以下でSV-5tの約半分である。前項でTW-4tの締固め度は下層では低いと述べた理由は本結果から推察される。TWの輪荷重と起振力は他機種に比べ低いので締固め能力も低い。w2(b)の沈下量は、SV-5tが最大で、SV-20tとTZ-12tが

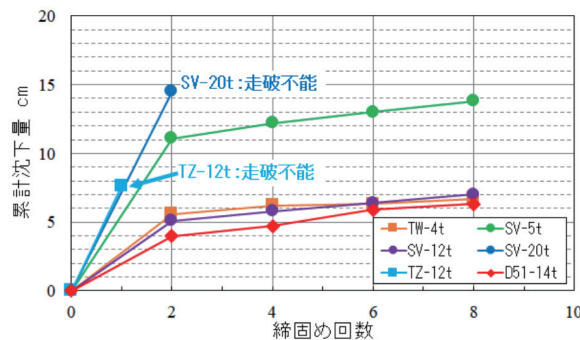
同等、SV-12tが続き、TW-4tとブルドーザはほぼ同等(約10cm)である。w3でもSV-5tが最大で、その他の機種は約5cmと同等である。TW-4tとブルドーザの沈下量は含水比3条件において5~10cmの範囲に留まることから締め固め能力は低いといえる。



(a) 含水比条件:w1



(b) 含水比条件:w2



(c) 含水比条件:w3

図-6 各含水比条件での沈下量と締め固め回数の関係

考察

走破性では、SV-5t、SV-12t、TW-4tおよびブルドーザが3条件を満足した。転圧ローラの走破性は車輪の駆動方式(両輪駆動、後輪のみ駆動)と輪荷重(沈下量と走行抵抗)に影響されることが明らかになった。

締め固め度では、転圧ローラがw1で98.6~101.2%、w2で95.1~98.7%、w3で90.6~93.2%と基準締め固め度90%を満足し、特にw1ではSV-12tとSV-5tが約100%と非常に高い。ブルドーザはw1とw3で基準値を満足せず、w1では土工用振動ローラより約10%も低い。

沈下量では、w1(13.5%)において土工用振動ローラが約18cmで最大、次いでTZ-12t、TW-4tとブルドーザはほぼ同等(約8cm)で土工用ローラの約半分である。SV-5tは全含水比で最大であるが、TW-4tとブルドーザは最低(5~10cm)に留まるため締め固め能力は低いといえる。

本結果より、走破性と締め固め能力(密度と沈下量)の両面から評価してSV-5tおよびSV-12tが優れているといえる。

本試験で得られたコーン指数と文献値¹⁾との差と補正方法について検討する。図-7の上段に本結果、下段に文献値を示す。12t以下の土工用振動ローラの値(243kN/m²)が文献のブルドーザ値(300kN/m²)より小さいのは非現実的である。供試14tブルドーザ値(約243kN/m²以下)を100~200と仮定し、文献値(15t級ブルドーザ、300kN/m²)との相対差(2~3倍)を補正值として供試機のコーン指数に適用することを提案する。例えば、供試タイヤローラ値360 kN/m²は720~1080kN/m²(中央値900kN/m²)に補正され、中央値と文献値(800kN/m²)はほぼ近似する。今後、さらに試験データを収集・蓄積しながら検討を進める予定である。

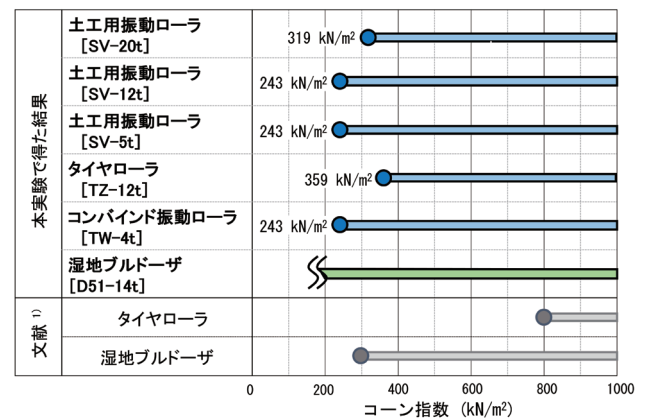


図-7 各建設機械の走破可能なコーン指数範囲

おわりに

最近の転圧ローラおよびブルドーザの走破性(コーン指数)と締め固め性能(密度と沈下量)の関係を試験評価した。12t以下の土工用振動ローラ(SV-5tおよびSV-12t)が両性能面において優れることが明らかになった。今後、堤防やため池の盛土施工の生産性と品質向上に資すれば幸甚である。

《参考文献》

- (財)国土技術センター(2009)、「河川土工マニュアル」
- 金澤、内山:「締め固めローラ各機種のトラフィカビリティ実験結果について」、第41回テラメカニクス研究会、11月、2020年