

盛土転圧の厚層化

渡辺 英* 西川 純一**

1. はじめに

道路土工における盛土締固めは、路床を除き、一層の厚さ 30cm を標準として施工、品質管理されている。しかし、近年、工事規模の大型化に伴い、経済的施工や工事の早期完成が求められている。特に、高規格道路等の建設にあたっては、高盛土で大規模な土工が増加している。こうした場合、効率の良い土工が工事全体の経済性、工期短縮に大きく寄与すると考えられ、それが建設コストの縮減、早期供用による経済効果につながると期待される。これまで盛土締固めの厚層化については、大型振動ローラを用いた締固めが検討されている¹⁾。

本報告では、現行の標準機械のタイヤローラと大型機械のタイヤローラを用いた試験施工を行い、盛土転圧における厚層化の可能性を検討したものである。

2. 道路土工における盛土締固め規定

盛土施工にあたっては、どのように土を締め固めるかを仕様書に明確に規定することは、盛土の品質を確実なものにするために欠くことが出来ないものである。規定の方式には大別して品質規定方式と工法規定方式の 2 つがあるが、現在は、品質規定方式が一般的である。

品質規定方式は、盛土に必要な品質を仕様書に明示し、締固めの方法については施工者にゆだねる方式で、検査の対象となるのは盛土の品質の規定に対する合否である。施工者は施工の過程において常に品質管理を行い、締固め工法を調整していかなければならない。

最近の請負工事においては、請負契約の性格上最も合理的な方式と目され、北海道開発局を含め、多くの機関において、この方式が採用されている。

品質を規定する方式には、①基準試験の最大乾燥密度、最適含水比を利用する方法（乾燥密度規定）、②空気間隙率または飽和度を施工含水比で規定する方法（空気間隙率または飽和度規定）、③締め固めた土の

強度、変形特性を規定する方法（強度特性規定）がある。一般的に、①に示された規定法が用いられており、今回の検討に使用する規定方法もこれを採用した。

基準試験の最大乾燥密度、最適含水比を利用する方法（乾燥密度規定）は、締め固めた土の乾燥密度と基準の締め固め試験の最大乾燥密度 $\rho_{d \max}$ の比（締め固め度）が規定値以上になっていること及び施工含水比がその最適含水比 ω_{opt} を基準として規定された範囲にあることを要求する方法である。一般に、土の現場密度測定には、JIS A 1210「砂置換法による土の密度試験方法」によることとし、一方、基準の締め固め試験としては、JIS A 1214「突固めによる土の締め固め方法」が用いられるのが一般的である²⁾。

また、北海道開発局の道路・河川工事仕様書³⁾の規定は、平成 10 年度から建設省関東地方建設局制定仕様書と同様に、路体が最大乾燥密度の 85%以上、路床が最大乾燥密度の 90%以上としており、今回の試験施工に際しても、ここでいう路体の規定で行うこととした。

表-1 出来形管理及び規格値³⁾

工 種	種 別	試 験 区 分	試 験 項 目	試 験 方 法	規 格 値	管 理 規 準
20 道 路 土 工	施 工	必 須	現 場 密 度 の 測 定	JIS A 1214、 JIS A 1210、 A、B 法による	路体は、最大乾燥密度の 85%以上。路床は、最大乾燥密度の 90%以上。その他、設計図書による。	路体は、1,000m ³ につき 1 回。路床は 500m ³ につき 1 回の割で行う。 (1 回とは 1 箇所の試験である。)

3. 現行の盛土締固め施工

一般に現場では、締固め作業にあたって、適切な締固め機械を選定し、試験施工などによって判明した敷均し厚さ、締固め回数、施工含水比などに従って、所定の品質の盛土を確保できるように施工することが必要である。北海道開発局所管の現行工事における標準的な盛土の敷均し及び締固め作業は、一層の仕上り厚さを 30cm 程度とし、施工機械は敷均し作業の作業量によって区分しており、10,000m³未満の場合は 15t ブルドーザ、10,000m³以上の場合は 21t ブルドーザとし、締固め作業が作業幅W=4m以上で作業する場合は、8～20t タイヤローラによる作業を標準としている⁴⁾。

表－2 盛土敷均し締固め適用範囲及び施工概要⁴⁾
(敷均し)

作業幅	機種	備考
4.0m以上	(排出ガス対策型・未対策型) 15tブルドーザ	対象土量が 10,000m ³ 未満
	(") 21tブルドーザ	対象土量が 10,000m ³ 以上
4.0m未満 ～2.5m以上	(") 3tブルドーザ	
2.5m未満	人 力	

(締固め)

作業幅	機種	備考
4.0m以上	(排出ガス対策型・未対策型) タイヤローラ (8～20t)	
4.0m未満 ～1.0m以上	(") 振動ローラ	
1.0m未満	タンバ	

4. 試験施工に用いる機種選定及び施工方法の検討

検討に先立ち、敷均し機械と締固め機械の各々の大型化について調査した。

第 1 に、敷き均し機械は、表－2 に示すとおり、対象土量 10,000m³以上の作業条件では、21t ブルドーザを標準としている。比較対象とする大型機械を 42t ブルドーザとし、施工比較検討を行った。敷均し作業の結果、盛土材の土質及び含水比による違いが生じたものがあった。しかし、敷均し作業程度のブルドーザの走行では、機種による影響はあまり受けない結果となった。

第 2 に、締固め機械は、作業幅 4m以上となる作業条件では、8～20t タイヤローラを標準機械としている。ここでは、建設省土木工事における標準機種⁵⁾、

締固め機械の所有状況、施工規模、品質管理等を考慮し、現在使われている機種より大型のタイヤローラとして、25t タイヤローラを選定した。その結果、締固め密度は増加傾向を示した。また、転圧回数についても、基準の締固め度を得る回数が、標準機械より少なかった。ただし、検討に用いた土質のうち、細粒分の多い盛土材やオーバーコンパクションを起こしやすい土質には不適當であった。

また、いずれも締固め密度の測定には砂置換法を採用した。転圧層下方の測定では、締固めた盛土を掘削して行った。この方法で所定頻度の管理試験を行うのは、実施工では大きな負担と考えられる。今後、盛土の品質管理手法についても検討を加えることが必要と考えられる。

試験施工での課題としては、以下の 3 点が考えられた。①礫質土等の一般的な盛土材は、盛土締固めの厚層化や転圧回数の削減が十分可能と見られる。これらの土質を用いて試験施工を行い、土質毎の厚層化等の可能性の確認や仕上厚と転圧回数等の施工条件を決定を行う必要がある。②事前（発注時等）に盛土の厚層化の可否を判断することが必要と考えられる。そのためには、試験施工に合わせて盛土材の物性値や締固め特性に着目した検討を行い、これを見極める手法を検討する必要がある。③盛土締固めを厚層化した場合、転圧層の上部と下部で密度の差が大きくなる。密度の違いが生じている盛土体の適切な評価が必要である。また、これを基に転圧層各部の密度の基準や測定頻度について検討する必要がある。

5. 試験施工の概要

試験施工は、敷均し機械を標準とし、締固め機械と

表－3 試験施工箇所一覧

略 称	工 事 名	担 当
北秩父	深川留萌自動車道 秩父別町 北秩父別改良工事	札幌開建 北空知道路建設事務所
鳴 川	一般国道 5 号 七飯町 鳴川改良工事	函館開建 函館道路事務所
奥白滝	旭川紋別自動車道 白滝村 奥白滝改良工事	網走開建 遠軽道路建設事業所
共 栄	一般国道274号 本別町 共栄改良工事	帯広開建 足寄道路建設事務所
茂幌呂	一般国道274号 阿寒町 茂幌呂改良工事	釧路開建 弟子屈道路総合事業所

して標準及び大型のタイヤローラを用い、北海道内 5 箇所（表-3）において実施した。

試験施工は、基本的に通常の盛土作業と同じであり、試験施工ヤードに盛土材を搬入し、1 層 30cm、45cm および 60cm の 3 通りの仕上厚による締固めを実施した。締固め機械は、大型機械としては 25t タイヤローラ、比較するためにこれまでの標準機械である 8-20t タイヤローラを使用した（写真-1・2）。



写真-1 標準タイヤローラと大型機械タイヤローラ



写真-2 締め固め状況

(1) 試験工程

各現場に共通した試験・調査項目とその目的は、下記に、また、全体の試験施工の流れを図-1 に示す。

① 密度試験

本体盛土同様に密度管理の対象とし、土の現場密度測定には、JIS A 1210「砂置換法による土の密度試験方法」によることとし、一方、基準の締め固め試験としては、JIS A 1214「突固めによる土の締め固め方法」を用いた。



図-1 試験施工の流れ

② コーン支持力試験

併せて原位置においてコーンペネトロメーターを貫入し、トラフィカビリティーの判定を行った。

③ 沈下板による沈下計測

転圧毎に、施工面の沈下を測定する。また、2 層目の施工にあたり、下層の沈下を確認するために沈下板を設置した。設置数は 1 施工パターンにつき 3 箇所とした。

④ 現場管理のための室内土質試験

盛土の厚層化の盛土材料への適否判定および盛土に使用した場合の密度管理の根拠とするため、図-2 に示す流れで各現場において土質試験を行った。



図-2 現場管理のための土質試験の流れ

(2)使用機械

試験に用いる使用機械は、機種による締固め能力の違いを確認するため、敷均し機械を同一機種とし、締固め機械を標準歩掛で定めている機械とそれより大型機械の2種類とした。

(3)盛土材料

盛土材料は、細粒分まじり礫、砂礫、細粒分まじり砂、粘土のうちオーバーコンパクションを生じないものを対象とした。火山灰の場合は、事前の検討から、最適含水比が50%を越える土質及び自然含水比と最適含水比(W_n/W_{opt})が1程度以下のものとした。

各試験施工箇所の土質は表-4の通りである。

表-4 試験施工箇所盛土材料

試料番号		鳴川	共栄	北秩父	茂幌呂	白滝
一般	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.692	2.963	2.585	2.275	2.599
	自然含水比 ω (%)	18.28	16.50	13.99	36.8	26.18
粒 度	礫 分 2~75mm (%)	47.0	54.0	79.9	11.6	1.0
	砂 分 75 μ m~2mm (%)	36.3	33.4	16.3	44.9	35.0
	シルト分 5~75 μ m (%)	10.5	5.1	2.2	33.1	50.0
	粘土分 5 μ m未満 (%)	6.2	6.8	1.6	10.4	14.0
	均等係数 U_c	250.0	209.9	10.2	51.2	25.4
	曲率係数 $U_{c'}$	1.6	2.5	1.7	0.8	2.0
特性	液性限界 ω_L	48.7	NP	53.2	NP	39.4
	塑性限界 ω_P	24.2	NP	22.1	NP	24.8
	塑性指数 I_p	24.5	—	31.1	—	14.6
分類	分類記号	GF-S	GS-F	GS	SF-G	CL
締 固 め	試験方法	B-a	B-c	B-b	A-b	A-b
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.714	1.884	1.922	1.168	1.463
	最適含水比 ω_{opt} (%)	18.39	13.6	10.54	35.5	26.33

(4)試験ヤード

6 ケースの締固め試験を予定しているため、30m×15mのヤードが6面を確保した(図-3)。また、ヤードが十分にとれない箇所は、上方に重ね上げてよいものとした(図-4)。

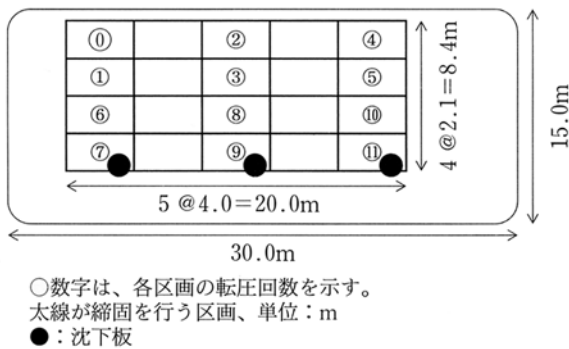


図-3 試験施工ヤード平面図

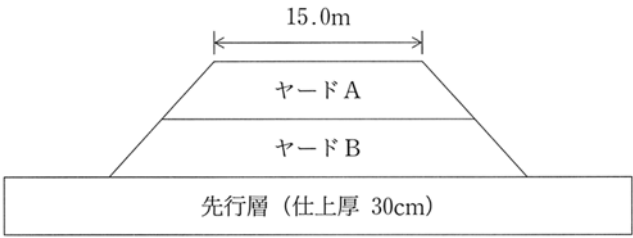


図-4 試験施工ヤード断面図

(5)試験方法

①試験ケース

仕上厚は、標準的な値である30cmに45cm、60cmを加えた3種類の仕上がり厚及び2種類の施工機械の組合せを設定し、表-5に示す6ケースとした。

表-5 仕上厚と施工機械の組み合わせ

ケース名	仕上厚	敷均機械	締固め機械
1	30cm	21t	8-20t
2	45cm	21t	8-20t
3	60cm	21t	8-20t
4	30cm	21t	25t
5	45cm	21t	25t
6	60cm	21t	25t

②管理試験

大型機械を用いた場合の仕上厚、転圧回数と密度の関係を調べるため、締固め密度及び施工面の沈下量を測定した。また、大型機械を用いた場合のトラフィカビリティ上の問題を把握するため、密度試験と同位置でコーン貫入試験を測定した。

また、各ヤードの基面は、地盤強度、地表の凹凸の影響を除くため、本施工と同様に締固める先行盛土を1層行なった。

密度、コーン指数はヤードの全区画にわたり所定回数の転圧を終えた後に測定し、各転圧回では図-5に示すように転圧層を15cm毎に区分し、各深度で密度測定を行った。1回の試験は近接した3カ所で行い、その最低値をその深度の密度とした。密度の測定方法は道路河川工事仕様書に定められた方法(砂置換法)によることとした。計測回数は、転圧回数毎に2点、1点につき深度方向に3点の計6点行った。1回の試験は近接した3カ所で行い、その最低値をその深度の密度とした。同時にコーン貫入試験も行い、測定はまきだし後及び各転圧毎に行った。

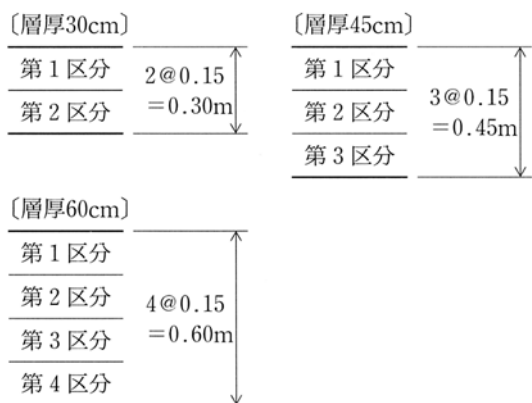


図-5 転圧層の深度区分

③沈下量の測定

転圧毎に、施工面の沈下を測定した（図-3 参照）。設置数は1施工パターンにつき3箇所とした。

6. 試験施工の結果

試験施工の結果をみると、仕上厚 60cm の場合、現行の標準締固め機械である 8-20 t タイヤローラによる施工では、「路体については最大乾燥密度の 85%以上」という締固めの規格値（以下、規格値）を満足しない箇所があった（図-6（a, c, g））。仕上厚 30 cm 及び 45cm の場合、品質は確保されているが、仕上厚 45cm は転圧回数が 9 回（通常は 4 回程度）と 30cm に比べ相当増加している。

一方、25 t タイヤローラという大型締固め機械であっても、盛土仕上厚 60cm では、品質が規格値付近に前後するため、品質確保されているとは言い難い箇所があった（図-6（b, d, j））。仕上厚 30cm、45 cm に関しては、規格値は確保されており、必要な転圧回数も 3 回前後と通常の施工と違いはなかった。締固め度試験の結果を図-6 に示す。

施工性については、転圧面となる第 1 区分が、転圧前のコーン指数が、 $q_c = 10$ (kgf/cm²) 程度であることから（図-7）、いずれもタイヤローラの施工性を

満足している。同一箇所での大型機械における転圧回数とコーン指数の関係を図-7 に示す。

ただし、仕上厚 60cm の場合、1 回目の転圧による圧縮沈下が 9cm と大きく、初期作動に時間を要し、大型機械による施工性が著しく悪かった。仕上厚 45 cm の場合、30cm に比べ沈下量はやや大きい初期作動に要する時間に大差はなかった。

大型締固め機械による施工では、施工箇所により仕上厚 60cm、45cm の施工が可能な箇所とそうでない箇所があった。不可能箇所は、細粒分の多い土を盛土材料として使用した箇所であったことから、盛土材料の性質に依存しているとみられる。

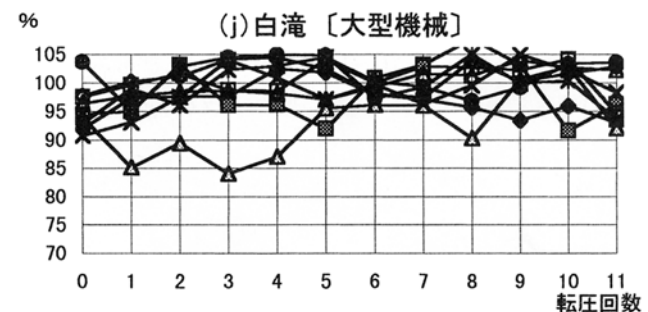
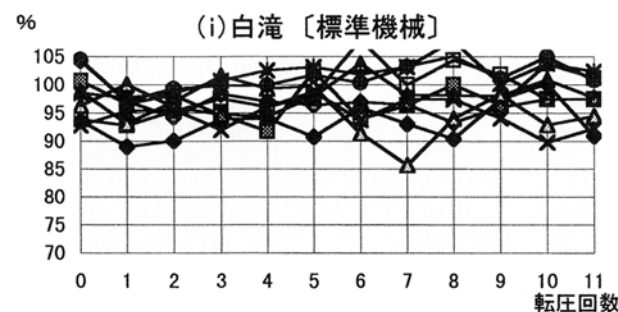
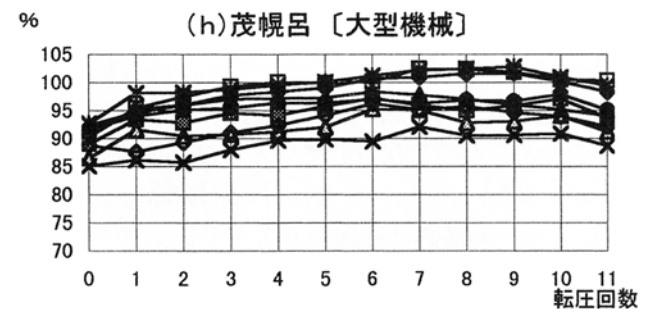
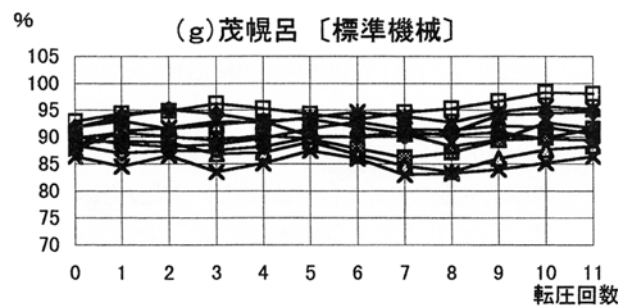
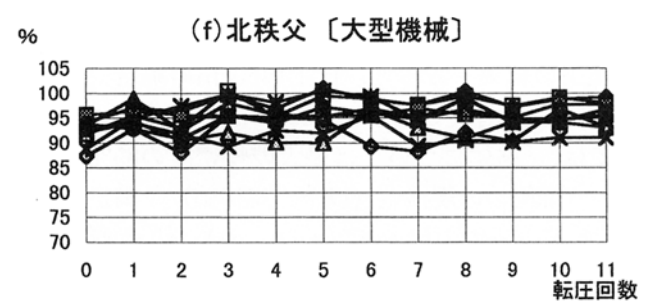
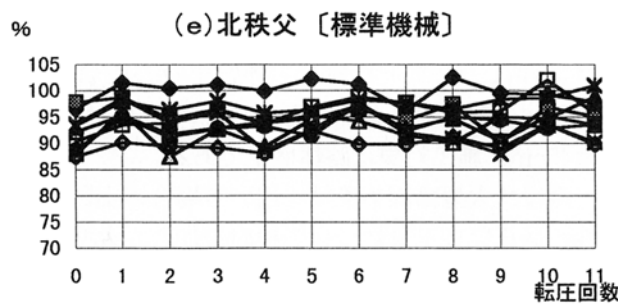
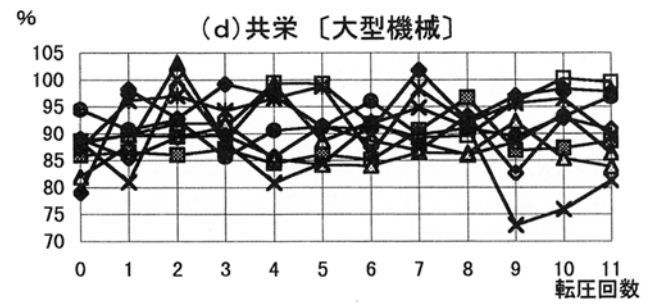
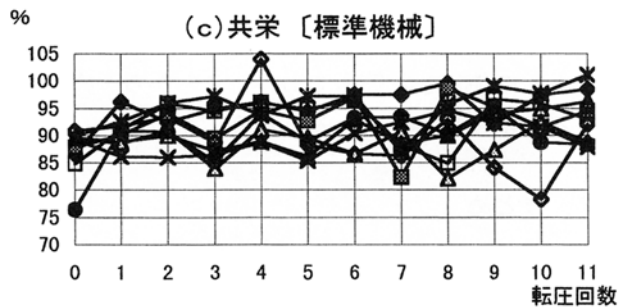
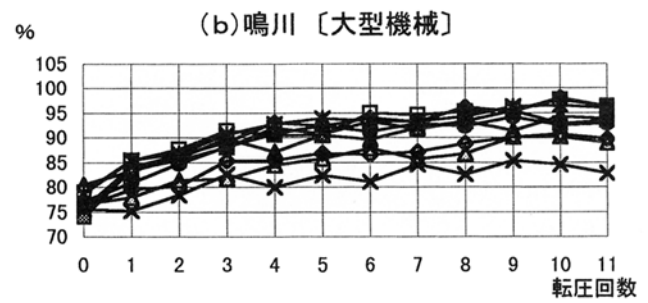
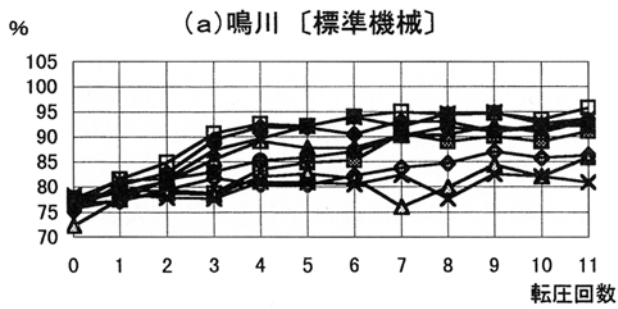
7. まとめ

盛土材料、施工方法、施工量等の条件を満足すれば、大型締固め機械による盛土施工が可能であることが試験施工より明らかにされた。現在のところ、必要な条件は、①盛土材料は、砂質土及び礫質土とし、オーバークンパクションを生じない、②一層の仕上厚は 45cm、施工対象は路体盛土である。

今後、大型締固め機械を用いる場合の土質毎の経済性、適正な施工量について検討を加え、大型機械導入の可否の判定についてさらに明確にする予定である。

参考文献

- 1) 例えば、益村他：締固め施工機械による土の締固め層厚の検討、第 33 回地盤工学会研究発表会、pp.2071-2072、平成 10 年 7 月。
- 2) 道路土工施工指針：社団法人日本道路協会、昭和 61 年 11 月。
- 3) 北海道開発局：道路・河川工事仕様書、pp.2-380、pp.2-381
- 4) 北海道開発局：道路協定(道路編)、pp.土-20
- 5) 建設省：土木工事標準歩掛、pp.35-36、平成 10 年度



凡例

●—t=60(第1区分)	■—t=60(第2区分)	▲—t=60(第3区分)	×—t=60(第4区分)	✱—t=45(第1区分)
●—t=45(第2区分)	◆—t=45(第3区分)	□—t=30(第1区分)	△—t=30(第2区分)	

図-6 転圧回数と締め固め度の関係

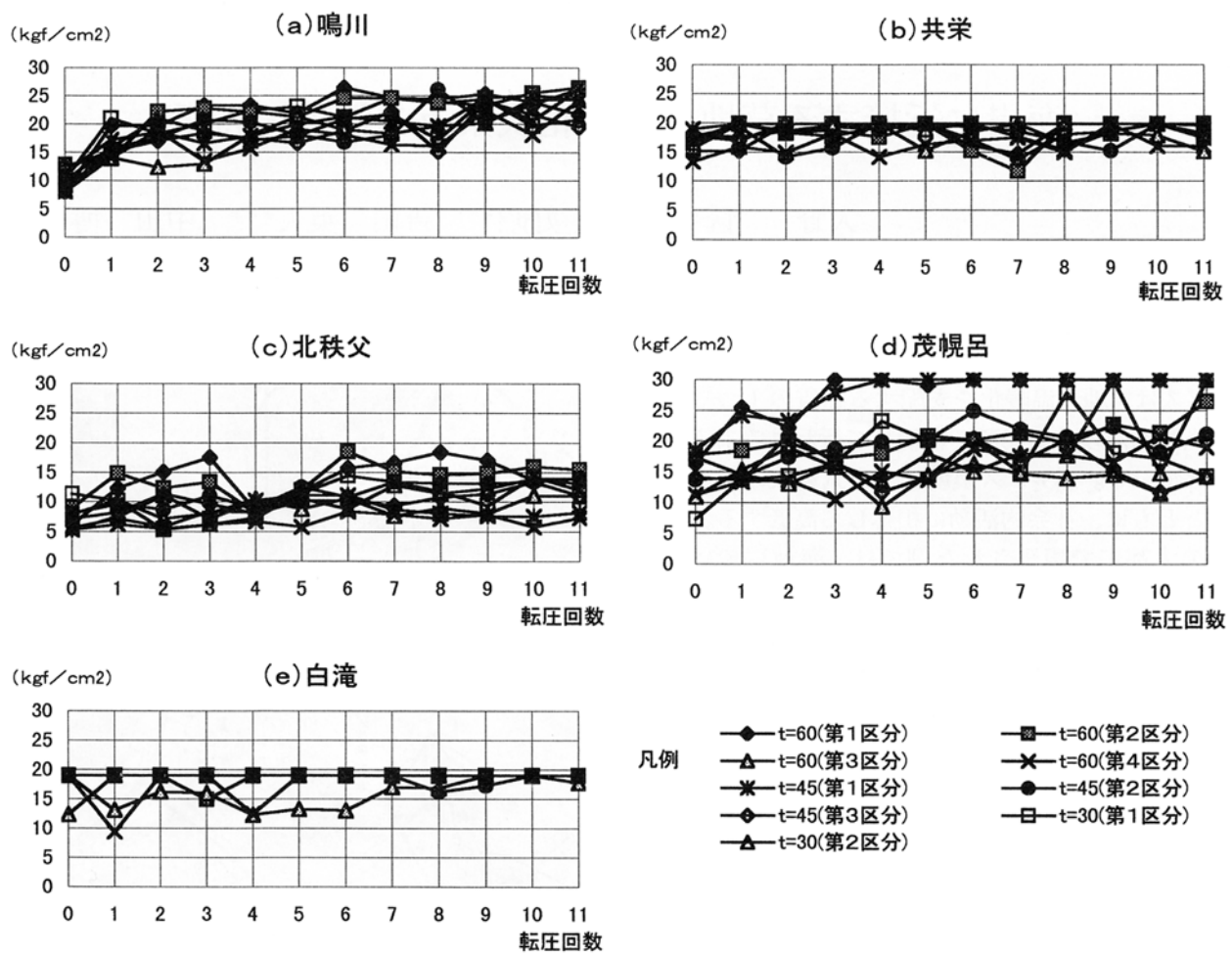


図-7 大型機械を用いた場合の転圧回数とコーン指数の関係



渡辺 英*

開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
研究員



西川 純一**

開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
室長
理学博士