

## 9. 歩道掘削工事における発生土の小型 FWD による品質事前予測

A Quality Prior Prediction by Small FWD of the Outbreak Soil in the Sidewalk Digging Construction

技術支援課 小林一雄、上野慎一郎

### 1. はじめに

東京都では、歩道上での道路占用工事において、道路占用企業者の技術的判断による現場発生土埋戻しについて、平成 17 年度より 3 年間で試験施工を行っている。

本試験施工での試験項目として、道路占用企業者は各箇所 1 点の土質試験、3 点の土研式円錐貫入試験、10mピッチでの沈下量の測定を行い、東京都は小型 FWD によるたわみ量測定を舗装上で行った。

昨年度までの報告<sup>1),2)</sup>では次のような傾向となっていた。

舗装復旧後の管上と掘削影響範囲外（埋設管上から掘削深さだけ離れた地点）の舗装面における小型 FWD による平均たわみ量比で、施工状況を評価することが可能であることが分かった。

歩道の透水性舗装上における小型 FWD によるたわみ量が小さければ良質土が多いことも分かった。

本文では、礫質土や最大粒径 40mm 以上のものも含めた材料の事前評価およびデータ数を増したことによる上記結果の確認を行ったので報告する。

写真 - 1 は、歩道舗装上における小型 FWD によるたわみ量測定状況を示した。

### 2. 歩道掘削工事における発生土による埋戻し状況

#### (1) 試験施工の状況

平成 17 年度より 3 年間でやってきた試験施工は、表 - 1 のとおりである。

都道占用工事の年間施工件数が多い東京電力、東京ガス、NTT、水道局、下水道局の 5 社で毎年 10 箇所づつ 3 年間の試験施工を行った。その結果、発生土で埋戻した箇所は、20%の実施率となっていた。企業別では、A 社は 60%という高い実施率を示しているが E 社のように 0%と全く実施できなかった企業もある。設計段階で良質土が発生する箇所を予測



写真 - 1 小型 FWD によるたわみ量測定状況

表 - 1 試験施工の実施率

企業名	年度	17	18	19	合計	実施率 %
A	計画	10	10	10	30	60
	実施	10	5	3	18	
B	計画	10	10	10	30	20
	実施	2	2	2	6	
C	計画	10	10	10	30	17
	実施	0	1	4	5	
D	計画	10	10	10	30	3
	実施	1	0	0	1	
E	計画	10	10	10	30	0
	実施	0	0	0	0	
合計	計画	50	50	50	150	20
	実施	13	8	9	30	

するのが困難だったことも原因の一つに挙げられる。

(2) 発生土の状況

1) 良質土の基準

東京都の道路占用工事における良質土の基準値は、砂又は砂質土、75µmふるい通過質量百分率が25%以下、CBR3%以上となっている。なお、最大粒径は40mm以下となっている。

2) 発生土の材料区分検討

発生土の材料区分を細分化し、良質土の定義および交通荷重の少ない歩道での簡易な判断方法について検討を行う。

発生土の区分は、表-2に示すように、非良質土を細分化した。砂又は砂質土は大分類では砂質土となり、75µmふるい通過質量百分率が25%以下、

CBR3%以上で、砂質土の場合を良質土、礫質土の場合を準良質土と区分し、最大粒径が40mm以上の場合に と標記した。

3) 発生土の材料区分結果

発生土の土質試験結果は、表-3に示した。なお、

表-2 材料区分

材料区分	基準値			
	土質区分	75µmふるい通過質量百分率(%)	CBR(%)	最大粒径(mm)
良質土	砂又は砂質土	25以下	3以上	40以下
良質土	砂質土	25以下	3以上	40以上
準良質土	礫質土	25以下	3以上	40以下
準良質土	礫質土	25以下	3以上	40以上
非良質土	粘性土	25以上	3以下	-

表-3 調査箇所と土質試験結果一覧

年度	路線区分	良質土の基準値との比較結果				材料区分	コーン指数qc(kN/m <sup>2</sup> )	含水比Wn(%)	細区分
		土質材料の工学的分類(中分類)	75µmふるい通過質量百分率(%)	最大粒径(mm)	CBR				
17	No.1中野区鷺宮	砂(S)	8.1	19	13.7	良質土	1,859	10	第1種
	No.2西東京市富士町	シルト(M)	70.1	37.5	2.2	非良質土	3,018	52.6	第4種
	No.3東大和市蔵敷	砂礫(GS)	9.6	26.5	61.2	準良質土	5,230	4.7	第1種
	No.4町田市小川	シルト(M)	53	37.5	1.9	非良質土	1,860	39	第3種
	No.5足立区鹿浜	砂礫(GS)	12.5	53	20	準良質土	5,982	13	第1種
	No.6世田谷区赤堤	シルト(M)	63.7	37.5	0.4	非良質土	179	98.5	泥土b
	No.7杉並区浜田山	砂礫(GS)	14.8	37.5	48.5	準良質土	4,595	10.2	第1種
	No.8豊島区東池袋	砂(S)	28.3	37.5	2.3	非良質土	1,131	33.6	第1種
18	No.1港区南青山	砂粒分混じり礫(GF)	8.1	53	8	準良質土	2,043	18	第2種
	No.3江戸川区南小岩	砂(S)	14.2	26.5	3	良質土	1,054	19.8	第1種
	No.4町田市能ヶ谷	細粒分まじり砂(SF)	16.8	26.5	4.3	良質土	4,446	17.3	第2種
	No.5町田市真光寺	細粒分混じり砂(SF)	18.6	37.5	11.3	良質土	7,032	16.5	第2種
	No.6町田市国師町	細粒分混じり礫(GF)	23	53	3	準良質土	731	19.9	第3種
	No.7立川市砂川	細粒分混じり砂(SF)	44.8	37.5	1.6	非良質土	906	40.1	第2種
	No.8渋谷区鉢山	砂礫(GS)	6.5	26.5	17.3	準良質土	2,000	13.3	第1種
	No.9新宿区戸山	砂(S)	6.9	4.75	12	良質土	2,274	14.1	第1種
	No.10練馬区関町南	礫質砂(SG)	13	53	27.8	良質土	2,000	15	第1種
	19	No.1練馬区北町	細粒分まじり砂(S)	13.1	26.5	23	良質土	3,667	16.8
No.2台東区元浅草		細粒分質礫質砂(SF)	15.7	53	59.2	良質土	12,727	10.4	第2種
No.3台東区蔵前		粘性土まじり砂(S)	10.8	9.5	5.7	良質土	2,000	18.6	第1種
No.4稲城市矢野口		細粒分質礫質砂(SF)	31	53	0.9	非良質土	354	19	第4種
No.6八王子市堀の内		粘性土質砂質礫(GS)	20.4	37.5	4.3	準良質土	1,026	14	第1種
No.10町田市金井町		粘性土まじり砂質礫(GS)	12.5	53	49.2	準良質土	4,018	10	第1種
No.15港区西麻布		礫まじり細粒分質砂(SF)	16	37.5	61.1	良質土	5,509	15.2	第2種
No.16新宿区西落合	細粒分まじり砂(S)	9.2	9.5	13.3	良質土	7,238	18.5	第1種	

土質試験結果の入手が遅れて集計できなかった箇所等もあり、17年度調査箇所で8箇所、18年度調査箇所で9箇所、19年度調査箇所で8箇所の合計25箇所となっている。

#### 発生土の材料区分結果

材料区分および発生土利用マニュアル<sup>3)</sup>での細区分については、表-4にまとめた。

現状の都における良質土の基準値を満たした箇所は、9箇所であり、試験施工箇所の4割程度であった。

良質土および準良質土は、建設発生土利用マニュアルの第1種から第3種であった。但し、第3種の土は、コーン指数が731kN/m<sup>2</sup>と第2種の800kN/m<sup>2</sup>以上に近い状態であった。したがって、良質土および準良質土は、建設発生土利用マニュアルの第1種から第2種が大半と考えられる。

非良質土は、6箇所あり、試験施工箇所の2割程度を占めていた。非良質土は、第3種、第4種、粘土で4箇所あり、非良質土の7割を占めている。

#### 細粒分含有率と自然含水比

図-1は、細粒分含有率と自然含水比との関係を土質区分別に表したものである。

自然含水比は、細粒分含有率が多くなると高くなり、締め固めにくいことが想定される。

土質区分や最大粒径が良質土と異なる材料は、細粒分が多い非良質土とは大きく異なり、良質土の分布に近く、自然含水比の大きいものは無かった。

#### (3) 埋戻し状況

埋戻し前後の土研式円錐貫入試験の打撃回数Ndは、図-2に示した。非良質土の埋戻し後のNdは、都におけるしゃ断層用砂による埋戻し基準の16回/10cm以上をほぼ満足できなかった。しかし、良質土およびその他の材料は満足できたものが多かった。したがって、非良質土を差別化できれば、しゃ断層用砂による埋戻し基準の16回/10cm以上をほぼ満足できる材料を選定できると考えられる。

### 3. 小型FWDの調査方法

小型FWDの調査方法は、昨年度の検討結果から、次のとおりとした。

歩道の最大路面勾配8%以下の箇所に適用

表-4 材料区分結果

	第1種	第2種	第3種	第4種	粘土b	計
良質土	6	3	0	0	0	9
良質土	1	1	0	0	0	2
準良質土	4	0	0	0	0	4
準良質土	2	1	1	0	0	4
非良質土	1	1	1	2	1	6
計	14	6	2	2	1	25

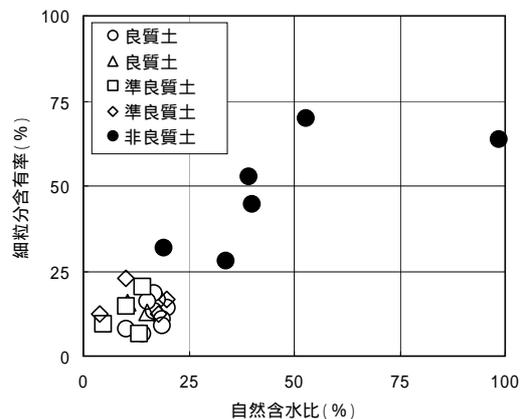


図-1 細粒分含有率と自然含水比

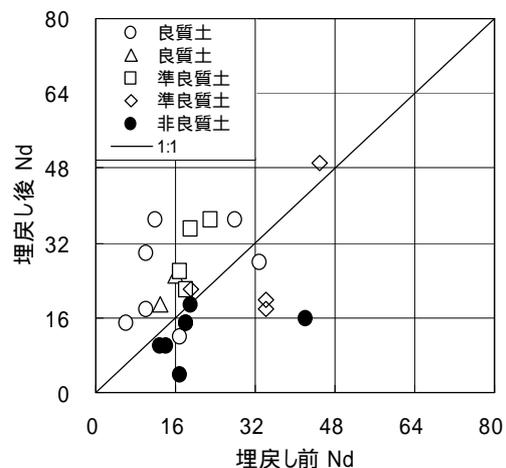


図-2 埋戻し前後のNdの分布

掘削影響範囲外に当たる位置が植樹マス直近の場合は、測定対象から除いた。

載荷板は 30cm

載荷重は 17kN

センサ設置位置は、0、20、45、120cmとした。

### 4. 埋戻し状況と小型FWDによるたわみ量との関係

(1) 管上と掘削影響範囲外での Do たわみ

管上と掘削影響範囲外での載荷点でのたわみ量および9区間の移動平均を図-3,4に示す。

なお、図中のP1～P3は土研式円錐貫入試験を行った箇所を示す。

図-3は良質土であった練馬区北町の例であり、管上のたわみ量は0.4～0.6mm程度であり、掘削影響範囲外のたわみ量は0.5～0.9mm程度と埋戻し後のたわみ量が小さいことを示している。

一方、図-4は非良質土であった稲城市矢野口の例であり、管上のたわみ量は0.7～1.2mm程度であり、掘削影響範囲外のたわみ量は0.5～1.0mm程度と埋戻し後のたわみ量は場所により大きい箇所もある。しかし、たわみ量は良質土であった練馬区北町に比べて大きく、CBRが小さいことにより軟弱な材料と考えられる。

(2) 土研式円錐貫入試験の打撃回数 Nd と平均 Do との関係

良質土の判定は、試掘調査の時点で土質試験を行うのが望ましいが、調査費用もかかることから、歩

道の透水性舗装における Nd と載荷重を 17 kN に換算した場合の平均 Do との関係性を求めたのが、図-5である。

非良質土は、平均 Do が 0.6mm 以上のたわみ量の大きな範囲に分布している。また、最大粒径が 40mm 以上の良質土は、平均 Do が 0.7mm 以上のたわみ量の大きな範囲に分布している。

したがって、平均 Do が 0.6mm 以下では、非良質土および良質土がないと言え、良質土、準良質土を選定できることを示している。

(3) 歩道の透水性舗装における埋戻し前後の Nd 差と管上と掘削影響範囲外における平均たわみ量比

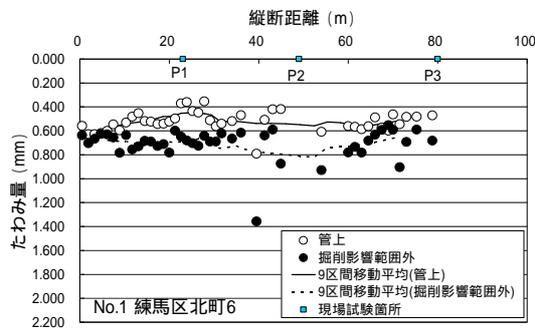


図-3 練馬区北町におけるたわみ量

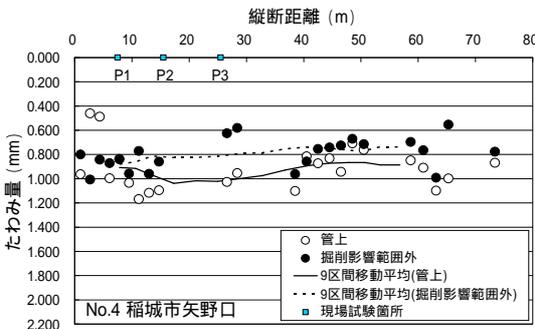


図-4 稲城市矢野口におけるたわみ量

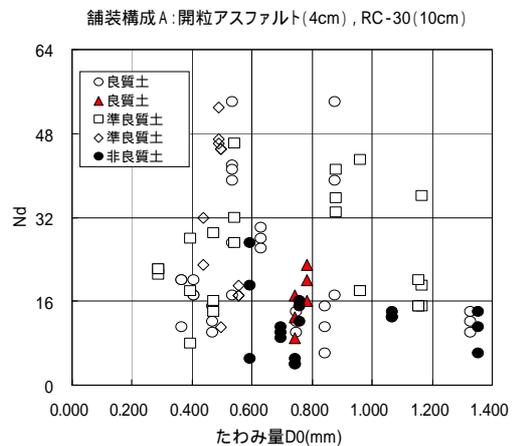


図-5 埋戻し前後の Nd とたわみ量 Do

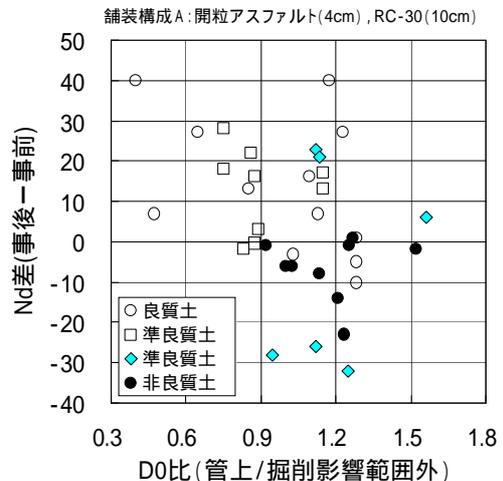


図-6 埋戻し前後の Nd の差と平均 Do 比

歩道の透水性舗装における埋戻し前後の Nd 差と管上と掘削影響範囲外における平均たわみ量比（平均 Do 比という）との関係は、図 - 6 に示した。

平均たわみ量は、原則として 9 点の平均を求めたが、やむを得ない場合は 3 点とした。

非良質土は、Do 比 0.9 以上の範囲に分布しており、埋戻し後の Nd が掘削前の Nd より小さく埋戻し不良の状態を示している。

以上のことから、Do 比 0.9 以下では、Nd 差がほぼ 0 以上となり、現状復旧できたと考えることが可能であるといえる。

### 5. 沈下量と小型 FWD によるたわみ量との関係

#### (1) 1 年 4 ヶ月後の沈下量の縦断方向の分布

歩道における沈下量は、荷重となる自動車の通過状況と、埋戻しの良否により大きく異なる。荷重が無ければ、埋め戻し不良であっても沈下がないということになる。したがって、沈下量の大きな箇所での沈下傾向を把握するのにとどまると思われる。

図 - 7 は、豊島区東池袋での 1 年 4 ヶ月後の沈下量の縦断方向の分布である。黒印は車乗り入れ部、白印は一般部の測定結果である。

1 年 4 ヶ月後では、沈下量が 7mm から 11mm もあり、今後の追跡調査が必要であろう。

この他に、1 年 4 ヶ月後の沈下量が大きかった箇所としては、一般部で 4mm、車乗入れ部で 8mm という杉並区浜田山において、準良質土 で埋め戻した

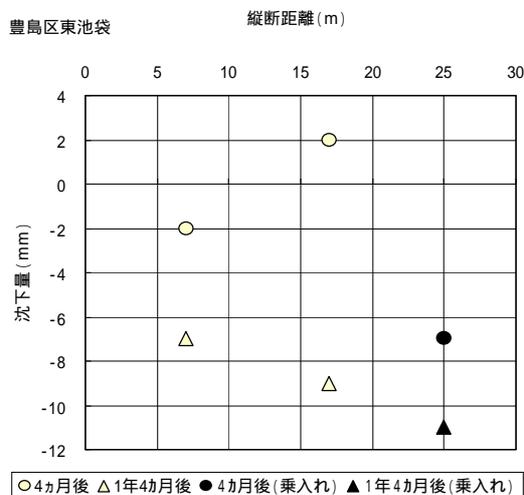


図 - 7 1 年 4 ヶ月後の沈下量と Do 比

箇所もあった。

### 6. 弾性係数の推定

#### (1) 弾性係数の求め方

舗装構成層の弾性係数の逆解析は、静的逆解析プログラム “BALM '99” (Back Analysis for Layer Moduli '99) を用いて行う。

BALM '99 の入力条件は下記のとおりである。

層数：3 層，

弾性係数初期値，ポアソン比

1 層：アスファルト混合物 (E=100,000kg/cm<sup>2</sup>)，  
コンクリート (E = 300,000kg/cm<sup>2</sup>)

2 層：路盤 (E = 1,500kg/cm<sup>2</sup>)

3 層：路床 (E = 1,000kg/cm<sup>2</sup>)

・ポアソン比：0.35 各層共通

たわみ測定点 4 地点：載荷地点からの離れ，

D<sub>0</sub> = 0cm, D<sub>1</sub> = 20cm, D<sub>2</sub> = 45cm, D<sub>3</sub> = 120cm

各地点の換算たわみ量 (17kN に換算)

載荷半径：15.00cm

舗装表面温度：計測温度

適切化パラメータ：3 層以下 0.001

#### (2) 舗装構成

解析に用いた舗装構成は、開粒度アスファルト混

表 - 5 各層の弾性係数の平均値

路線名	条件	弾性係数 (MPa)		
		As	路盤	路床
No.2	管上	5,169	280	61
目黒区上目黒	影響範囲外	4,520	262	62
No.3	管上	5,704	235	81
江戸川区南小岩	影響範囲外	3,875	508	106
No.4	施工前	2,628	271	74
町田市能ヶ谷	管上	2,520	381	41
	影響範囲外	4,226	351	47
No.5	管上	4,724	262	70
町田市真光寺	影響範囲外	2,340	343	60
No.6	管上	2,868	428	47
町田市図師町	影響範囲外	3,877	347	53
No.7	管上	3,468	246	63
立川市砂川	影響範囲外	4,192	286	61
No.1	管上	4,169	355	64
練馬区北町	影響範囲外	3,640	358	43
No.6	管上	5,324	288	64
八王子市堀の内	影響範囲外	4,923	306	62
No.10	管上	5,445	285	70
町田市金井町	影響範囲外	5,481	293	80
No.16	管上	2,890	447	55
新宿区西落合	影響範囲外	3,403	419	34
最大値		5,704	508	106
最小値		2,340	235	34
平均値		4,066	331	62
標準偏差		1,052	73	16

合物 2号 4cm、再生クラッシャラン(RC-30)10cm、  
 しゃ断層用砂 5cm の透水性舗装を対象とした。

解析断面は第一層 4cm、第二層 10cm、第三層無限  
 の三層構造とした。

(3) 計算結果

計算結果は表 - 5 に示すとおりである。

弾性係数は、アスファルト混合物で 2,300 ~  
 5,700MPa、路盤で 240 ~ 510MPa、路床で 34 ~ 106MPa  
 という結果になった。

舗装各層に使用する材料の弾性係数とポアソ

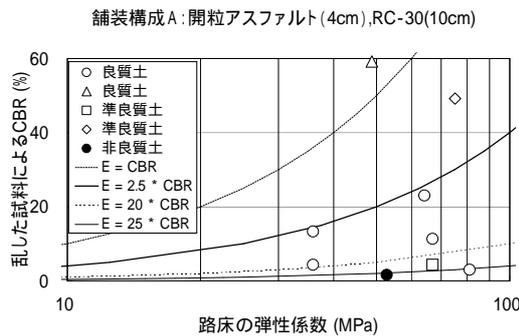


図 - 8 路床の弾性係数と乱した試料による CBR

ン比の例 <sup>4)</sup>によるとアスファルト混合物で 600 ~  
 12,000MPa、粒状材料で 100 ~ 600MPa、クラッシャ  
 ランで 200MPa となっており、今回の解析結果の妥当性  
 が示された。

路床の弾性係数と乱した試料による CBR との関  
 係は図 - 8 に示した。弾性係数は CBR 試験箇所付  
 近での値を採用した。

舗装設計便覧 <sup>4)</sup>によれば CBR から弾性係数を推

定するには CBR 値の 2 ~ 10 倍の値を用いることが  
 あると示されている。今回の結果では、最大粒径  
 40mm 以上の良質土、準良質土を除くと弾性係  
 数は CBR 値の 2.5 ~ 25 倍の値になっていた。

7. おわりに

主な結果をまとめると次のとおりである。

土質区分や最大粒径が良質土と異なる材料は、  
 細粒分が多い非良質土とは大きく異なり、むしろ良  
 質土の分布に近かった。

非良質土を差別化できれば、しゃ断層用砂によ  
 る埋戻し基準の 16 回/10cm 以上をほぼ満足できる材  
 料を選定できると考えられる。

平均 Do が 0.6mm 以下では、非良質土および良質  
 土がないと言え、良質土、準良質土を選定できる  
 ことを示している。

Do 比 0.9 以下では、Nd 差がほぼ 0 以上となり、  
 現状復旧できたと考えることが可能であるといえる。

路床の弾性係数は、最大粒径 40mm 以上の良質土  
 、準良質土を除くと CBR 値の 2.5 ~ 25 倍の値に  
 なっていた。

今後は車乗入れ部でのたわみ量調査と 3 年後の沈  
 下量を確認することにより、歩道部における現場発  
 生土による埋戻し方法を検討していきたい。

本調査を進めるに当たり、道路管理部保全課、各  
 道路占用企業者の多大なご協力を得たことを感謝い  
 たします。

参 考 文 献

- 1) 小林一雄、大野正宏 (2006): 歩道における埋戻し評価方法の基礎的検討、平成 18 年、東京都土木技術センター年報、59 - 66
- 2) 小林一雄、上野慎一郎 (2007): 歩道掘削工事における小型 FWD による埋戻し確認、平成 19 年、東京都土木技術センター年報、111 - 119
- 3) 土木研究センター (2004): 建設発生土利用技術マニュアル (第 3 版)
- 4) 日本道路協会 (2006): 舗装設計便覧、113-118