

10. 再生砂 (RC-10) の強度増加抑制に関する検討

Examination for Controlling the Increase in the Intensity of RC-10

技術支援課 上野慎一郎、田中輝栄、峰岸順一

1. はじめに

東京都建設局では、電線共同溝事業において再生砂を埋戻し材として使用してきた。しかし、これまでの調査結果から、再生砂は埋戻し材料として使用すると強度増加が著しいため再掘削が困難となること、コンクリート塊から製造した再生砂（以下、「Co 再生砂」という。）だけでなく、アスファルトコンクリート塊から製造した再生砂（以下、「As 再生砂」という。）も強度増加すること、その強度特性は製造するプラントや、同一プラントの製品でも製造時期によりばらつきがあることなどが分かっている。そのため、現在は一時的に再生砂による埋戻しを中止している。

しかし、再生砂は埋戻し用砂と比較すると安価であることやリサイクルに貢献できることから、埋戻し材として利用するために、これまで再生砂同士の混合、砂との混合、粒度分布の調整など長期強度増加を緩和する方法を検討してきた。本年度は、平成 21～24 年度に実施した延べ 25 プラントの再生砂に関する現場試験結果、及び砂を混合するなどにより調製した再生砂の現場試験結果から得られた強度増加の緩和手法について報告する。

2. 調査内容

製造プラントから採取した再生砂及び粒度調整等をした再生砂を用いて以下のとおり調査を行った。

(1) 使用材料

1) プラント別材料

プラント別材料として、表-1 に示した延べ 25 プラ

ントから採取した材料を採取した状態のままの再生砂を実験に用いた。混合割合は聞き取りによる目安の割合である。

表-1 使用材料

実験年度	プラント	混合割合		その他の混合材料
		Co	As	
21 22	A	Co 70%	As 30%	徐冷スラグ
	B	Co 40%	As 30% 砂 30%	—
	C	Co 70%	As 30%	—
	D	—	As 100%	—
	E	Co 50%	± 50%	石灰(含水比調整)
	F	Co 100%	—	—
	G	Co 70%	砂30%	—
	H	Co 70%	As30%	—
22 23	I	Co 100%	—	—
	J	Co 100%	—	—
	K	Co 90%	As10%	—
	L	Co 90%	As10%	—
	M	Co 70%	As30%	—
	N	Co 70%	As30%	徐冷スラグ
	O	Co 70%	As30%	—
	P	Co 50%	砕砂50%	—
23 24	Q	Co 50%以下	As50%以上	—
	R	Co 20%	As80%	—
	S	Co 100%	—	—
	T	Co 100%	—	—
	U	Co 90%	As10%	—
	V	Co 90%	As10%	—
	W	Co 80%	As20%	—
	X	Co 70%	As30%	—
Y	—	As100%	—	

2) 調製材料

Co 再生砂と他材料を下記に示す条件で調製し実験に用いた。作製した材料一覧を表-2 に示す。粒度調整⑥は細かい成分を除去した再生砂、粒度調整⑦は粒度範囲を狭めた再生砂の強度増加傾向を確認するために調整した。また粒度調整⑥、⑦の作製は、実際のプラントでの作業を考慮し、自然含水比の材料を振動ふるい機で3回ふるい分けし分級した。粒度調整⑥は0.425mmのふるい分けが必要なためプラントで作製するのは困難であると考えられるが、材料の特性を把握するために行った。

粒度調整①：As 再生砂を50%混合した材料

粒度調整②：As 再生砂を75%混合した材料

粒度調整③：埋戻し用砂を25%混合した材料

粒度調整④：埋戻し用砂を50%混合した材料

粒度調整⑤：埋戻し用砂を75%混合した材料

粒度調整⑥：0.425mm以上の材料

(0.425mmふるいで分級)

粒度調整⑦：2.5mm以上の材料

(2.5mmふるいで分級)

表-2 調製材料

実験年度	プラント	粒度調整	記号
21~22	F, D	なし (Co100%)	F-0
		なし (As100%)	D-0
		①	FD-1
		②	FD-2
	F	なし	F-0
		③	F-3
④		F-4	
23~24	S	なし	S-0
		④	S-4
		⑤	S-5
		⑥	S-6
		⑦	S-7
	T	なし	T-0
		⑤	T-5

(2) 現場実験による強度増加確認

現場での強度増加傾向を確認するため、戸田橋実験場において、表-1、2に示した材料を用いて実験を実施した。図-1に示すような幅60×長さ120×深さ70cmの土槽（覆土10cm）を作製し、1層30cmとして上層、

下層の2層に分けそれぞれランマ転圧により締固めた。埋戻し完了後に施工直後、2ヵ月後、1年後の土研式円錐貫入試験及び剣スコップによる掘削性に関する試験を行った。

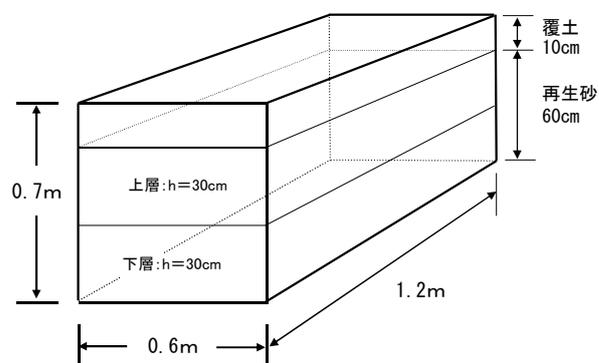


図-1 土槽の概略図

1) 土研式円錐貫入試験方法

覆土10cmを撤去後、舗装調査・試験法便覧 S043-1「簡易貫入試験方法」により実施した。貫入は再生砂を埋戻した60cmまで実施したが、50~60cmは掘削底面の強度に影響を受けていたため、Nd値(10cmあたりの貫入回数)は0~50cmの平均値で整理した。

2) 剣スコップ掘削性試験方法

土研式円錐貫入試験後の土層(下層部分)において、剣スコップ(写真-1)を用いて人力で掘削し、18リットル缶が掘削した再生砂で一杯になるまでの時間を測定した。過去の実験¹⁾から流動化処理土は1分程度、しゃ断砂は30秒程度の掘削時間である。



写真-1 使用した剣スコップ

3. プラント別材料による現場実験結果

表-1に示す25プラントの再生砂を使用し土研式円錐貫入試験及び剣スコップ掘削性試験を行った。

(1) 土研式円錐貫入試験結果

土研式円錐貫入試験の結果（打撃回数 Nd）を表-3、
図-2 に示す。道路占用工事要綱で定めるしゃ断層用
砂及び埋戻し用砂に対する施工管理基準は 16 回以上
である。

施工直後の Nd 値は、平均 41.7 回、最大 70.4 回であ
るが、1 年後の Nd 値は、全 25 材料中 18 材料で管理基
準の 10 倍となる 160 回を超え、平均が 344.3 回（管理
基準の 21.5 倍）、最大値が 1489.6 回（同 93 倍）とな
り、過剰な強度を有していることが分かった。また、
施工直後と 1 年後を比較すると、平均 7.9 倍、最大 22.3
倍の強度増加があり、再生砂を埋戻し材に使用すると
著しく強度が増加することを確認した。

図-3 に平均値、最大値、最小値、標準偏差（ σ ）
の経時変化を示す。施工直後から 2 ヶ月後まではばら
つきが小さいが、1 年後には材料ごとのばらつきが大
きくなり、また Nd 値自体も増加していることが分かる。

次に 1 年後の Nd 値について、Co 再生砂の混合割合
別に 100%、90~70%、50~20%、0%（As 再生砂）の
4 分類で示した（図-4）。Co100%の再生砂はばらつき
が特に大きく、値も大きいことが分かる。また、As 再
生砂（Co:0%）でも 1 年後の Nd 値（平均）が約 200 回
と非常に大きい値を示している。

Co 再生砂（5 材料）と As 再生砂（2 材料）の Nd 値
（平均）の経時変化を図-5 に示す。変化量に違いは
あるものの両材料とも 2 ヶ月後から 1 年後の間に大き
く強度が増加することが分かる。Co 再生砂は 1 年後に
700 回を超え（施工直後の 14.5 倍）、As 再生砂は 2 ヶ
月後までの強度増加は小さいが 1 年後には施工直後の

6 倍近くまで増加している。

表-3 土研式円錐貫入試験結果

プラ ント	土研式円錐貫入試験				
	Nd (回)			増加倍率	
	施工直後	2ヶ月後	1年後	2ヵ月後	1年後
A	44.2	60.4	188.6	1.37	4.27
B	24.2	34.2	35.8	1.41	1.48
C	21.4	42.6	305.0	1.99	14.25
D	17.2	33.0	155.2	1.92	9.02
E	42.8	115.8	540.8	2.71	12.64
F	26.2	39.8	76.8	1.52	2.93
G	27.6	65.8	400.8	2.38	14.52
H	20.2	43.8	87.4	2.17	4.33
I	66.8	166.2	1489.6	2.49	22.30
J	63.8	102.0	476.6	1.60	7.47
K	46.8	55.4	135.2	1.18	2.89
L	52.4	61.4	227.2	1.17	4.34
M	46.8	60.0	680.4	1.28	14.54
N	41.8	59.0	208.8	1.41	5.00
O	43.6	35.4	165.8	0.81	3.80
P	50.0	68.8	532.4	1.38	10.65
Q	34.0	39.8	165.8	1.17	4.88
R	70.4	71.6	280.8	1.02	3.99
S	43.6	100.6	267.8	2.31	6.14
T	47.4	142.6	1281.3	3.01	27.03
U	38.2	137.8	139.5	3.61	3.65
V	36.4	51.2	207.2	1.41	5.69
W	39.6	37.2	104.3	0.94	2.63
X	49.6	59.4	240.2	1.20	4.84
Y	47.0	42.8	213.2	0.91	4.54
平均値	41.7	69.1	344.3	1.69	7.91
最大値	70.4	166.2	1489.6	2.71	22.30
最小値	17.2	33.0	35.8	0.81	1.48
標準偏差	13.9	37.2	352.8	0.72	6.41

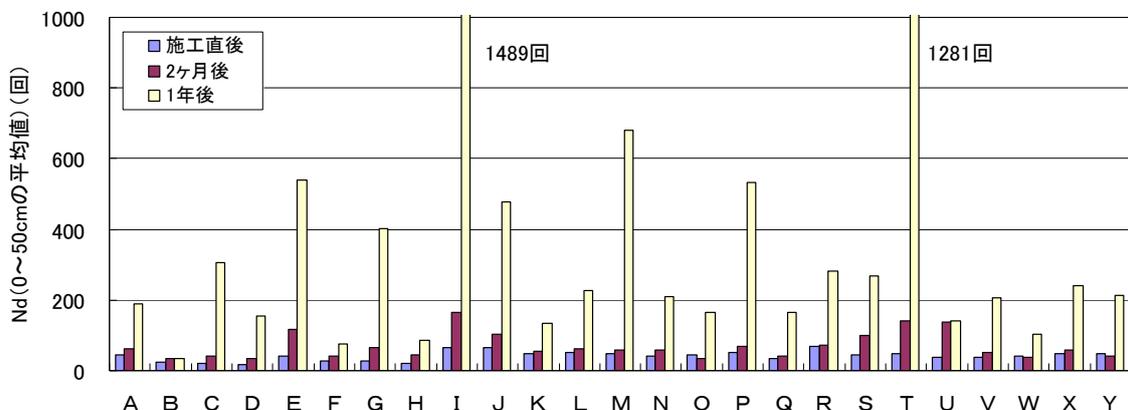


図-2 土研式円錐貫入試験結果

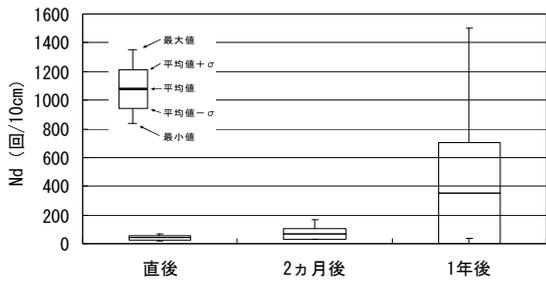


図-3 Nd 値の経時変化

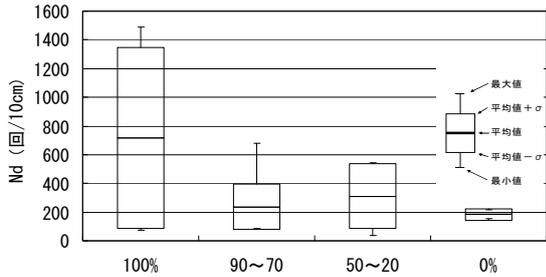


図-4 Nd 値（1年後）と Co 再生砂混合割合

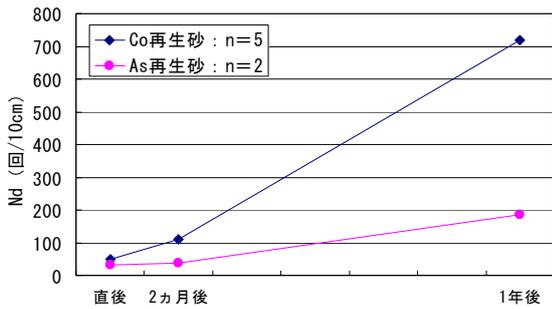


図-5 Co 再生砂と As 再生砂の Nd 値の変化

(2) 剣スコップ掘削性試験

剣スコップ掘削性試験結果を図-6、表-4に示す。施工直後の掘削時間は、平均1分34秒、最大48秒であるが、1年後には、平均が5分12秒、最大19分25秒となった。また、直後と1年後を比較すると、平均3.3倍、最大4.9倍と掘削時間が増加してお

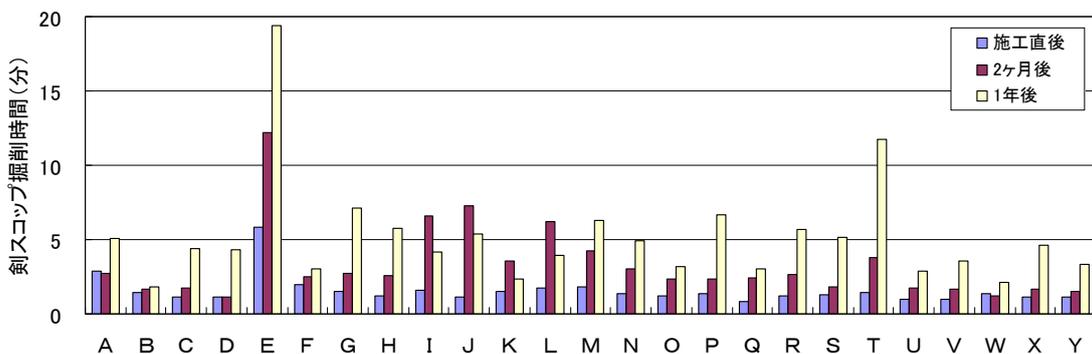


図-6 剣スコップ掘削性試験結果

り、再生砂を埋戻し材に使用すると掘削性が大きく低下することを確認した。

ここで、1年後の掘削時間が最大となった材料EはCo再生砂50%に高含水比の土を50%混合しているため、その含水比調整として石灰を添加している。これまでCo再生砂に改良土（発生土を生石灰により改良）を混合すると掘削性が著しく悪化することを確認しているが²⁾、石灰が添加されているEの掘削時間も他の24材料と傾向が異なり著しく長い。そのため、以下の考察は、Eを除外した24材料のデータを用いて行う。

図-7に平均値、最大値、最小値、標準偏差の経時変化を示す。施工直後はばらつきが小さいが、2ヶ月後、1年後は材料ごとのばらつきが大きくなり、また時間の経過とともに掘削時間が増加している。

次に1年後の掘削時間について、(1)と同様にCo再生砂の混合割合別の4分類で示した(図-8)。土研式円錐貫入試験と同様にCo再生砂(100%)はばらつきが特に大きく、値も大きいことが分かる。また、As再生砂の掘削時間(平均)はCo100%以外の分類とほぼ同様であり、剣スコップ掘削性試験でもAs再生砂は、Co再生砂を含む材料と同じように強度増加することが確認された。

Co再生砂(5材料)とAs再生砂(2材料)の掘削時間(平均)の経時変化を図-9に示す。Co再生砂は2ヵ月後までの短期間に掘削性が悪化し更に時間経過に従って徐々に掘削時間が長くなっている。As再生砂は2ヵ月後までは大きな変化は見られないが1年後までに徐々に掘削時間が増加している。土研式円錐貫入試験とは異なる傾向であるが、Co再生砂とAs再生砂共に掘削性が低下することを確認した。

表-4 剣スコップ掘削性試験結果

プラント	剣スコップ掘削性試験				
	剣スコップ掘削時間			増加倍率	
	施工直後	2ヶ月後	1年後	2ヵ月後	1年後
A	02分51秒	02分45秒	05分05秒	0.96	1.78
B	01分25秒	01分41秒	01分47秒	1.19	1.26
C	01分10秒	01分44秒	04分25秒	1.49	3.79
D	01分08秒	01分07秒	04分17秒	0.99	3.78
E	05分48秒	12分14秒	19分25秒	2.11	3.35
F	01分57秒	02分30秒	03分01秒	1.28	1.55
G	01分29秒	02分44秒	07分07秒	1.84	4.80
H	01分15秒	02分36秒	05分46秒	2.08	4.61
I	01分34秒	06分35秒	04分11秒	4.20	2.67
J	01分08秒	07分16秒	05分24秒	6.41	4.76
K	01分31秒	03分35秒	02分20秒	2.36	1.54
L	01分44秒	06分14秒	03分55秒	3.60	2.26
M	01分49秒	04分13秒	06分19秒	2.32	3.48
N	01分23秒	03分00秒	04分57秒	2.17	3.58
O	01分12秒	02分20秒	03分09秒	1.94	2.63
P	01分21秒	02分22秒	06分39秒	1.75	4.93
Q	00分51秒	02分25秒	03分00秒	2.84	3.53
R	01分11秒	02分38秒	05分40秒	2.23	4.79
S	01分17秒	01分51秒	05分09秒	1.44	4.01
T	01分26秒	03分49秒	11分45秒	1.19	1.26
U	01分01秒	01分45秒	02分52秒	1.49	3.79
V	00分59秒	01分38秒	03分35秒	0.99	3.78
W	01分23秒	01分15秒	02分07秒	2.11	3.35
X	01分08秒	01分41秒	04分39秒	1.28	1.55
Y	01分08秒	01分29秒	03分22秒	1.84	4.80
平均値	01分34秒	03分15秒	05分12秒	2.08	3.27
最大値	05分48秒	12分14秒	19分25秒	6.41	4.93
最小値	00分51秒	01分07秒	01分47秒	0.96	1.26
標準偏差	00分58秒	02分29秒	03分36秒	1.19	1.23

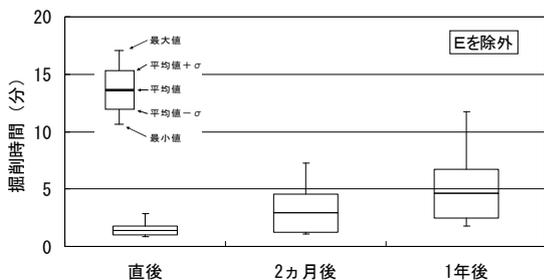


図-7 掘削時間の経時変化

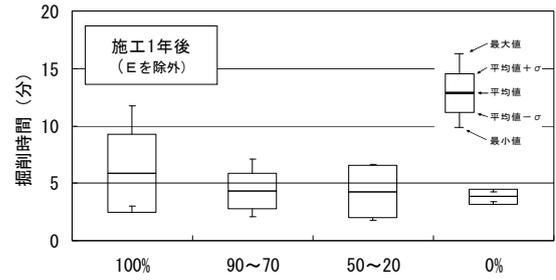


図-8 掘削時間（1年後）と Co 再生砂混合割合

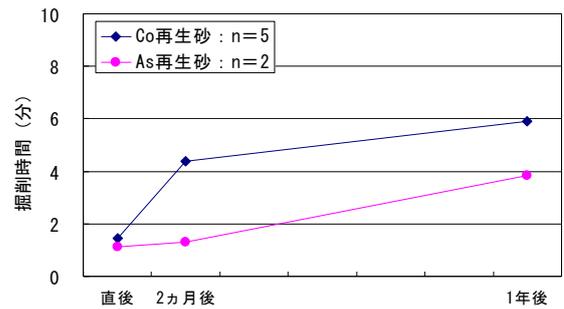


図-9 Co 再生砂と As 再生砂の掘削時間の変化

4. 調製材料による現場実験

表-2 に示す再生砂を調製した材料を使用し土研式円錐貫入試験及び剣スコップ掘削性試験を行った。試験結果を表-5 に示す。

(1) Co 再生砂と As 再生砂の混合材料

Co 再生砂はプラント F、As 再生砂はプラント D から採取し、混合割合 (Co : As) が 50:50 (FD-1)、25:75 (FD-2) の 2 種類の材料を作製し実験を行った。

1) 土研式円錐貫入試験 (図-10)

施工直後の Nd 値は、D-0 (As100%) が最も小さく (17 回)、また F-0 (Co100%) は 26 回であるが、Co 再生砂と As 再生砂を混合した FD-1、FD-2 は混合前より増加した。1 年後の調整材料の Nd 値は、F-0 より大きくなっており、FD-1 が F-0 の 1.6 倍、FD-2 は 1.1 倍となった。なお、1 年後の Nd 値は As 再生砂である D-0 が最大であった。

2) 剣スコップ掘削試験結果 (図-11)

掘削性試験では、FD-1 が施工直後、2 ヶ月後、1 年後のすべてで最も掘削時間が長くなった。1 年後の F-0 との比較で 1.77 倍と大きく掘削性が悪化した。FD-2 は 1 年後は施工直後より減少しているが、掘削時間は 2 分 7 秒であり掘削性が良い材料とは言えない。

表-5 調製材料の試験結果

記号	土研式円錐貫入試験					剣スコップ掘削性試験				
	Nd (回)			増加倍率		剣スコップ掘削時間			増加倍率	
	施工直後	2ヶ月後	1年後	2ヵ月後	1年後	施工直後	2ヶ月後	1年後	2ヵ月後	1年後
F-0	26.2	39.8	76.8	1.52	2.93	01分57秒	02分30秒	03分01秒	1.28	1.55
D-0	17.2	33.0	155.2	1.92	9.02	01分08秒	01分41秒	04分17秒	1.49	3.78
FD-1	35.4	63.6	124.8	1.80	3.53	03分58秒	05分21秒	05分21秒	1.35	1.35
FD-2	33.0	39.2	86.2	1.19	2.61	02分36秒	01分59秒	02分07秒	0.76	0.81
F-3	31.2	60.2	179.0	1.93	5.74	02分24秒	03分24秒	04分25秒	1.42	1.84
F-4	40.2	52.8	128.3	1.31	3.19	01分56秒	02分08秒	04分36秒	1.10	2.38
S-0	43.6	100.6	311.6	2.31	7.15	01分17秒	01分51秒	05分09秒	1.44	4.01
S-4	52.0	42.8	337.8	0.82	6.50	01分18秒	01分10秒	03分43秒	0.90	2.86
S-5	53.6	31.4	89.6	0.59	1.67	01分04秒	01分05秒	01分41秒	1.02	1.58
S-6	52.0	81.4	604.4	1.57	11.62	00分53秒	01分50秒	04分19秒	2.08	4.89
S-7	40.6	53.0	294.0	1.31	7.24	00分52秒	01分14秒	04分15秒	1.42	4.90
T-0	47.4	142.6	1525.6	3.01	32.19	01分26秒	03分49秒	11分45秒	2.66	8.20
T-5	35.2	74.6	97.8	2.12	2.78	01分15秒	01分24秒	01分53秒	1.12	1.51

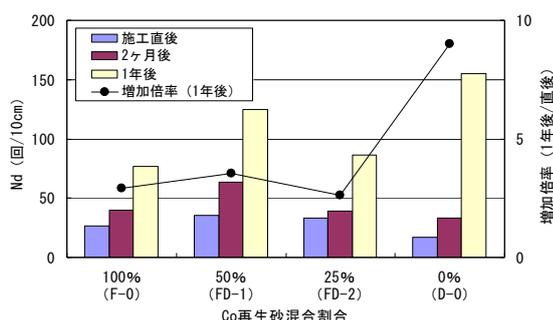


図-10 土研式円錐貫入試験結果
(Co 再生砂+As 再生砂の混合)

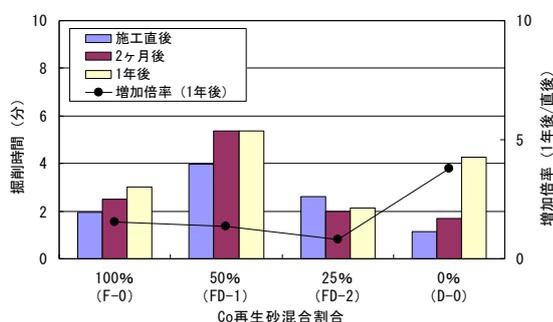


図-11 剣スコップ掘削性試験結果
(Co 再生砂+As 再生砂の混合)

3) 強度増加の緩和について

剣スコップ掘削性試験では、As 再生砂を 75%混合することにより掘削時間を減少させることができたが、しゃ断層用砂の 4 倍の時間を要している。また

土研式円錐貫入試験では混合することで強度が増加している。これらのことから Co 再生砂と As 再生砂の混合では強度増加緩和を期待することはできないと考えられる。

(2) Co 再生砂の粒度調整材料

プラント S から Co 再生砂を採取し、粒度調整⑥ (S-6)、粒度調整⑦ (S-7) の 2 種類の材料を作製し実験を行った。それぞれの粒径加積曲線を図-12 に示す。この図とおりの粒度の調整後の材料にも 0.425mm や 2.5mm を通過する粒子が含まれている。これは実際のプラントの作業を考慮し絶乾状態ではなく湿潤状態 (自然含水比) でふるい分けを行っているためである。

1) 土研式円錐貫入試験結果 (図-13)

S-6 (0.425mm 以上) の 1 年後の Nd 値は 604 回となり、施工直後との比較では 11.6 倍と著しく増加した。S-0 の 1 年後との比較でも、約 2 倍の強度となっている。S-7 (2.5mm 以上) は 1 年後の Nd 値が 294 回 (増加倍率 7.2 倍)、S-0 との比較では 0.95 倍とほぼ同値となっており、粒度調整前の材料と変わらない強度増加があった。

2) 剣スコップ掘削性試験結果 (図-14)

S-0は施工直後1分17秒、1年後5分9秒と掘削時間が4倍と掘削性が大幅に低下している。調製材料であるS-6、S-7の1年後の掘削時間は、S-0の約80%に減少しているが、共に4分を超え、施工直後から3倍以上の掘削時間を要しており、掘削性が改善されたとは言えない。

3) 強度増加の緩和について

粒径の小さい成分が少ない方が強度増加が小さいと考え実験を行ったが、土研式円錐貫入試験では粒度調整前の材料より強度が増加し、また1年後の剣スコップ掘削時間も4分を超えるなど、再生砂の粒度を調整しても強度増加を緩和することができないことが分かった。

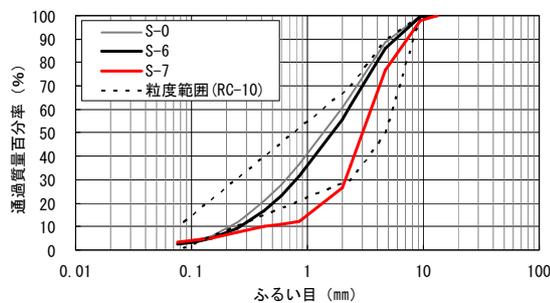


図-12 粒度調整材料の粒径加積曲線

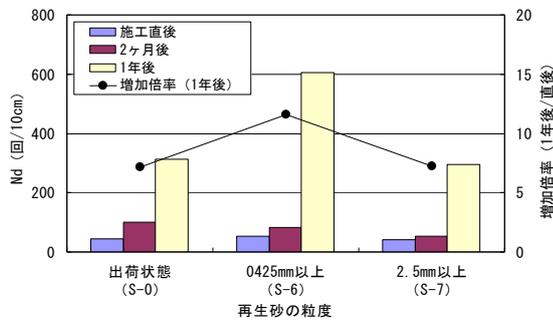


図-13 土研式円錐貫入試験結果
(粒度を調整した材料)

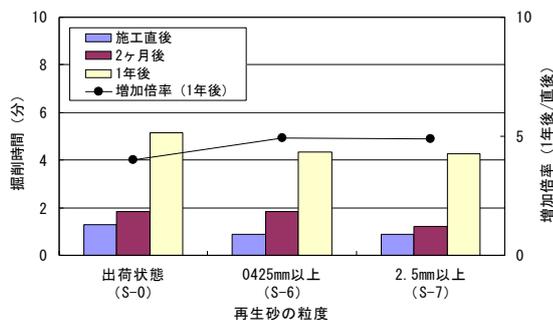


図-14 剣スコップ掘削性試験結果
(粒度を調整した材料)

(3) Co再生砂と砂の混合

平成21年度にプラントFのCo再生砂を使用し、砂を25%または50%混合した材料による試験を行い、その結果から、砂を50%以上混合することにより強度増加を緩和できる可能性があると考え、平成23年度にプラントS、TのCo再生砂に砂を50%または75%混合した材料により実験を行った。

1) 土研式円錐貫入試験結果

①プラントFの材料 (図-15)

F-0は施工直後から1年後でNd値が2.9倍(77回)と強度増加する材料であった。砂を25%混合したF-3は、施工直後はF-0とほぼ同じ値(31回)であったが、1年後には179回と直後の5.7倍、F-0の2.3倍となった。50%混合のF-4は、施工直後から1年後にNd値が3.2倍、F-0の1年後の1.7倍と強度がより増加し、砂50%の混合までは期待する効果は見られなかった。

②プラントSの材料 (図-16)

S-0は施工直後から1年後に7.2倍(312回)となる材料であった。S-4(砂50%混合)は、施工直後から1年後で6.5倍(338回)となり、S-0とほぼ同様な強度が増加があった。S-5(砂75%混合)は、施工直後は54回とS-0より若干大きい値を示したが、1年後は89回であり、S-0との比較で71%減少している。砂75%混合で強度の大幅な減少が期待できる。

③プラントTの材料 (図-17)

T-0は施工直後から1年後に32.2倍(1526回)と著しく強度が増加する材料であった。T-5(砂75%混合)は、施工直後から1年後で2.8倍(98回)と強度増加が見られるが、T-0の1526回から94%減少しており強度増加を緩和する効果が見られた。

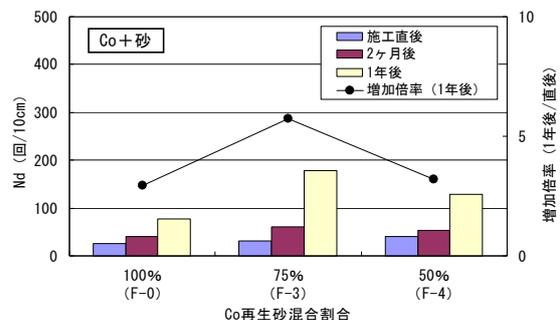


図-15 土研式円錐貫入試験結果 (F+砂)

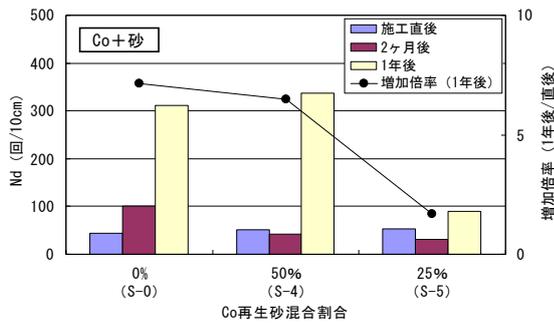


図-16 土研式円錐貫入試験結果 (S+砂)

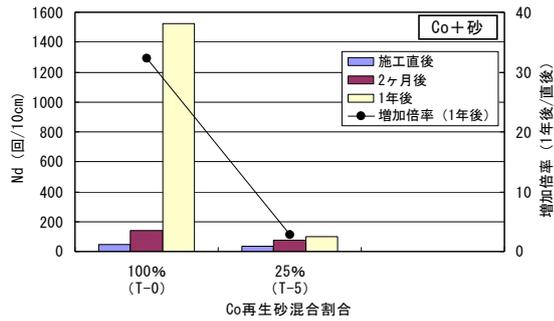


図-17 土研式円錐貫入試験結果 (T+砂)

2) 剣スコップ掘削性試験結果

① プラントFの材料 (図-18)

F-0 は、施工直後から1年後で掘削時間が1.6倍 (3分1秒)となる掘削性が低下する材料であった。F-3は、施工直後 (2分24秒)、1年後 (4分25秒)ともにF-0より掘削時間が長くなった。F-4の掘削時間は、施工直後はF-0と同程度であるが、1年後は4分36秒となり、F-0の1年後の1.5倍の時間を要しており、掘削性は混合前より低下した。掘削性試験からも砂50%の混合では強度増加を緩和する効果は見られない。

② プラントSの材料 (図-19)

S-0は施工直後から1年後に4.0倍 (5分9秒)となる掘削性が低下する材料であった。S-4の1年後の掘削時間は3分43秒であり、S-0より30%程度減少しているが、施工直後の2.9倍の時間を要している。S-5の1年後 (1分41秒)はS-0の33%の掘削時間であった。施工直後から1年後で掘削時間は1.9倍となったが、混合前との比較では大幅に掘削時間が減少した。土研式円錐貫入試験結果と同様に砂75%混合により、強度増加の緩和が期待できる。

③ プラントTの材料 (図-20)

T-0は施工直後から1年後に8.2倍 (11分45秒)と土研式円錐貫入試験結果と同様に大幅に強度が増加する材料であった。T-5は、施工直後から1年後で1.5倍 (1分53秒)の掘削時間となったが、T-0との比較では84%減少もしており、ここでも砂を75%混合することで大きな強度増加の緩和効果が見られた。

3) 強度増加の緩和について

Co再生砂と砂を混合した結果、砂を50%程度混合しても、同等かそれ以上の強度が発現してしまうが、砂を75%混合することで、大幅に強度増加を低減できることを確認した。

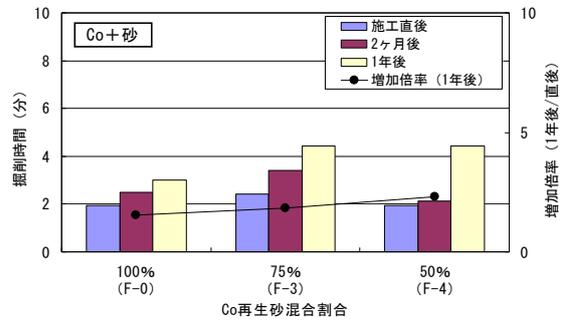


図-18 剣スコップ掘削性試験結果 (F+砂)

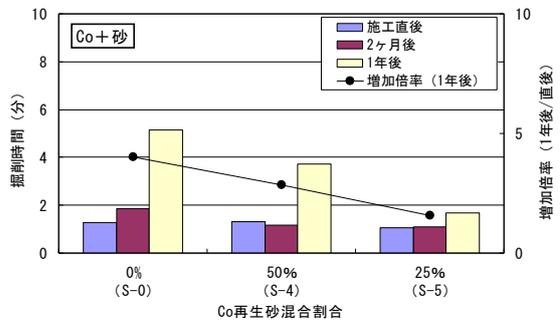


図-19 剣スコップ掘削性試験結果 (S+砂)

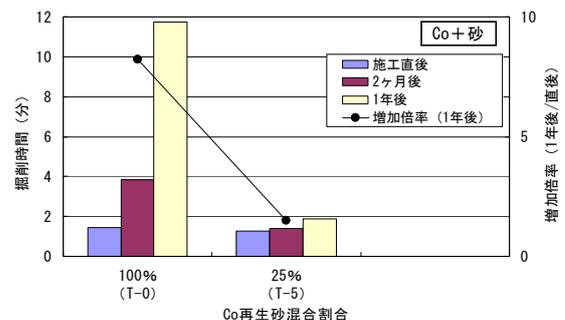


図-20 剣スコップ掘削性試験結果 (T+砂)

(4) 小型 FWD による硬さの確認

平成 23 年度に Co 再生砂（プラント S、T の再生砂）を用いて調製した材料の埋戻し後、小型 FWD（KFD-100A（東京測器研究所製））によるたわみ量測定を行い、硬さの確認を行った。

1) 測定条件等

測定に先立ち、予備試験を行い、以下の条件を選定した。

① 載荷板直径：10cm

② 重錘質量：5kg

③ 落下高さ：40cm

測定たわみ量（単位 mm）は、基準荷重を 5kN とし下式により補正し整理した。

・補正後のたわみ量＝測定たわみ量×5kN/測定荷重

2) たわみ量測定結果

測定結果を図-21、表-6（減少率は 1 年後/施工直後）に示す。

調製前の材料 S-0、T-0、調製後の材料 S-4～7、T-6、7 の 7 材料すべてで時間の経過と共にたわみ量が小さくなっている。施工直後のたわみ量は 0.363～0.689mm であるが、2ヶ月後には 0.129～0.237mm とたわみ量が平均 62%減少した。砂を 75%混合した S-5 と T-5 は他材料よりたわみ量の減少率が小さかった。また 1 年後のたわみ量は 0.082～0.212mm であり、施工直後から平均 74%減少した。S-5、T-5 は 1 年後でも 0.2mm を超えており、1 年後でも他の材料より減少率が小さかった。以上から、小型 FWD によるたわみ量測定からも、再生砂は時間の経過により硬化することを確認できた。また土研式円錐貫入試験や剣スコップ掘削性試験ほどではないが、砂を 75%混合することにより、たわみ量の減少（再生砂の硬化）が緩和された。

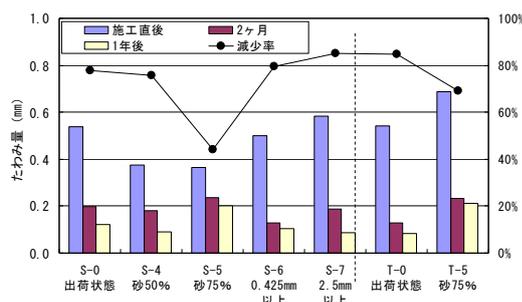


図-21 たわみ量測定結果

表-6 たわみ量測定結果

材料	5kN換算たわみ量 (mm)			減少率	
	施工直後	2ヶ月	1年後	2ヶ月	1年後
S-0	0.537	0.197	0.120	63.3%	77.7%
S-4	0.376	0.180	0.091	52.1%	75.8%
S-5	0.363	0.237	0.203	34.8%	44.1%
S-6	0.499	0.129	0.103	74.1%	79.4%
S-7	0.583	0.189	0.088	67.6%	84.9%
T-0	0.541	0.130	0.082	76.0%	84.8%
T-5	0.689	0.233	0.212	66.2%	69.2%
平均値	0.513	0.185	0.128	0.620	0.737
最大値	0.689	0.237	0.212	0.760	0.849
最小値	0.363	0.129	0.082	0.348	0.441

5. まとめ

(1) 出荷状態の再生砂

① プラントで製造し出荷されている「コンクリート発生材のみで製造した再生砂（Co 再生砂）」、「アスファルトコンクリート発生材のみで製造した再生砂（As 再生砂）」、「それらを混合している再生砂」、「Co 再生砂に砂を混合した再生砂」は、時間の経過により強度が増加することを確認した。

② 1 年後の強度では、土研式円錐貫入試験（Nd 値）の平均が 344 回、18 リットルを掘削する時間（掘削時間）が平均 5 分 12 秒であった。また Nd 値が 1000 回を超え、掘削時間が 10 分を超える再生砂もあり、埋戻した再生砂を人力で掘削することは非常に困難であることを確認した。

(2) 調製した再生砂

① Co 再生砂と As 再生砂を混合した再生砂では、混合割合によっては、掘削時間を減少させることができたが、しゃ断層用砂の 4 倍であること、Nd 値は増加したことなどから、As 再生砂との混合では強度増加の緩和を期待することはできない。

② Co 再生砂を 0.425mm ふり及び 2.5mm ふりを通過させた再生砂では、Nd 値、掘削時間も粒度調製前の再生砂より掘削性が大きく低下しており、粒度を調整しても強度増加を緩和することはできないと考えられる。

③ Co 再生砂と埋戻し用砂を混合した再生砂では、砂の割合が50%まででは、混合前の再生砂と同等かそれ以上の強度が発現することが分かった。しかし、砂を75%混合することにより、強度増加を大幅に低減できることを確認した。

④ 以上から、再生砂を埋戻し材料として使用する際は、通常製造している再生砂に埋戻し用砂を75%以上混合することを提案する。

謝辞

本調査を進めるに当たりご協力いただいた道路管理部安全施設課の方々をはじめ、関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 小林一雄、内田喜太郎、石川靖仁（1991）：道路占用工事における埋戻し工法、平3. 東京都土木技術研究所年報、61-70
- 2) 小林一雄、上野慎一郎（2009）：再生砂（RC-10）の特性に関する検討、平21. 東京都土木技術支援・人材育成センター年報、99-108
- 3) 上野慎一郎、田中輝栄、峰岸順一（2010）：埋戻し後の再生砂（RC-10）の強度増加に関する検討、平22. 東京都土木技術支援・人材育成センター年報、91-100
- 4) 上野慎一郎、田中輝栄、峰岸順一（2011）：埋戻し後の再生砂（RC-10）の強度増加に関する検討（その2）、平23. 東京都土木技術支援・人材育成センター年報、77-86
- 5) 上野慎一郎、田中輝栄、峰岸順一（2012）：粒度調整した再生砂（RC-10）の強度増加に関する検討、平24. 東京都土木技術支援・人材育成センター年報、77-85