

## 8. 埋戻し後の再生砂（RC-10）の強度増加に関する検討（その2）

### Strength Characteristics of Backfilled RC-10 (Part. 2)

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埋戻し材として再生砂を使用している。また、コスト削減及びリサイクルの観点からも埋戻し材として再生砂を利用することが求められている。しかし、再生砂を埋戻し材として使用した箇所では掘削性が低下し再掘削時に埋設管を破損する恐れがあるなどの課題が挙げられており、前年度までの調査でも再生砂を埋戻し材として使用すると掘削性が低下することが明らかになっている。本年度は、これまでに調査した8プラントの再生砂に関する調査結果に加え、更に10プラントの再生砂について長期強度の増加に関する調査を行ったので報告する。

#### 2. 調査内容

##### (1) 強度増加に関する室内試験

長期強度について検討するため、表-1に示す材料により、CBR試験、ハンドスコップによる掘削性試験を行った。

##### (2) 現場実験による施工性の確認

現場での施工性を確認するため、戸田橋実験場において、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、表-1に示す再生砂を埋戻し、ランマー転圧により締固めた後、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試験を行った。

#### 3. 使用材料

表-1に示す18プラントから3~4回ずつ購入した再生砂を使用し調査を行った。混合割合は聞き取りによる目安の割合である。A~Hは平成21年度、I~Rは平成22年度に購入・調査した材料である。

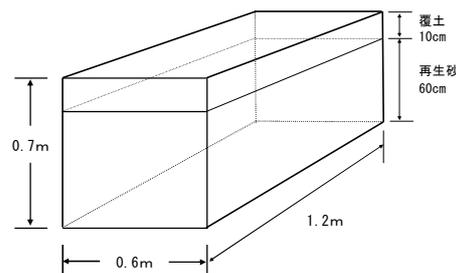


図-1 土槽の概略図

表-1 使用材料

| 調査年度 | プラント | 混合割合     |                 | その他の混合材料  |
|------|------|----------|-----------------|-----------|
|      |      | Co       | As              |           |
| 21   | A    | Co 70%   | As 30%          | 徐冷スラグ     |
|      | B    | Co 40%   | As 30%<br>砂 30% | -         |
|      | C    | Co 70%   | As 30%          | -         |
|      | D    | -        | As100%          | -         |
|      | E    | Co 50%   | 土 50%           | 石灰(含水比調整) |
|      | F    | Co 100%  | -               | -         |
|      | G    | Co 70%   | 砂30%            | -         |
|      | H    | Co 70%   | As30%           | -         |
| 22   | 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%           | -         |
|      | Q    | Co 50%以下 | As50%以上         | -         |
|      | R    | Co 20%   | As80%           | -         |

#### 4. 強度増加に関する室内試験結果

##### (1) CBR 試験

CBR 試験は、舗装調査・試験法便覧 S041 に準拠した。供試体は 4 日間水浸でなく、1) に示す 6 種類の条件で養生した。

##### 1) 養生条件

- ① 養生なし（供試体作製直後（初期値））
- ② 水浸養生 0 日、室内養生 28 日
- ③ 水浸養生 0 日、室内養生 56 日
- ④ 水浸養生 4 日、室内養生 0 日
- ⑤ 水浸養生 28 日、室内養生 0 日
- ⑥ 水浸養生 56 日、室内養生 0 日

##### 2) CBR 試験結果

養生条件①、③、⑥の CBR 試験結果を図-2~4 に示す。室内養生では、18 材料全 56 回の試験のうち、27 回が CBR 値 100% 以上であり、そのうち 9 回は 200% 以上であった。最大値は I の第 3 回で 285.3% であった。水浸養生では全 57 回の試験中 19 回が 100% 以上、うち 6 回が 200% 以上であった。最大値は I の第 3 回で 230.3% であった。また、養生なしでは出荷プラント毎の CBR 値のばらつきが小さい材料も見られるが、室内 56 日養生および水浸 56 日養生した材料では CBR 値の変動が大きく、同一プラントの材料でも製造時期により CBR 値のばらつきが大きかった。各材料の CBR 試験の平均値を図-2、表-2 に示す。室内養生 56 日後の CBR 値は、平均で 112.4%、最大 260.4%、水浸養生 56 日後では平均 93.9%、最大 207.8% と非常に大きな値となった。

次に、コンクリート廃材の混合割合（以下、「Co 混合割合」という。）が多い順に材料（A~R）を並べ替えた CBR 試験の平均値を図-5、6 に示す。横軸の数字は Co 混合割合を示す。過年度の調査結果<sup>2)</sup>と同様に全てのケースで室内養生、水浸養生ともに再生砂の長期強度が増加することを確認した。特に B（Co 混合割合 40%）、J（同 100%）、L（同 90%）の強度増加が著しかった。水浸養生でも同様の結果であった。Co 混合割合が同程度でも、出荷されるプラント毎に CBR 値はばらついており、また Co 混合割合が 5 割以下でも養生 56 日後に CBR 値が 150% 以上増加する材料、7 割程度でもほとんど強度増加しない材料などがあり、プラント毎に強度増加の傾向が異なった。

次に、Co 混合割合 100%（F、I、J）、90~70%（A、C、G、H、K、L、M、N、O）、50~20%（B、E、P、Q、R）、0%（D）の 4 グループに分けて、各グループの平均値、最大値、最小値、標準偏差（ $\sigma$ ）を示したグラフを図-7（室内養生 56 日）、図-8（水浸養生 56 日）に示す。図-5、6 のプラント毎のグラフでは Co 混合割合による強度増加の明確な傾向は見られなかったが、Co 混合割合によりグループ分けすると、Co 混合割合 50~20% のグループが B の影響により高めめの値となっているものの、室内養生、水浸養生ともに Co 廃材が多いほど CBR 値が高くなる傾向が見られた。B は他材料と異なる傾向を示しているが、18 材料の中で唯一 Co 廃材、As 廃材、砂の 3 種類の原料が混合されている材料であった。

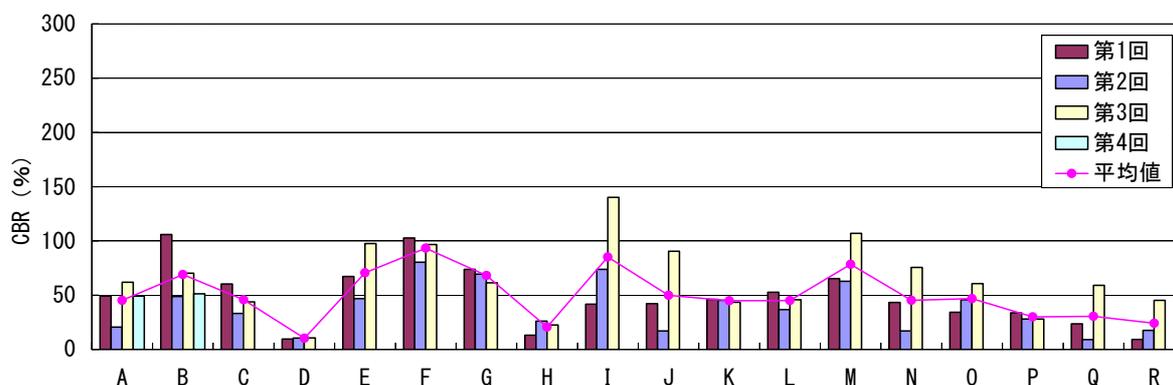


図-2 CBR 試験結果（養生なし）

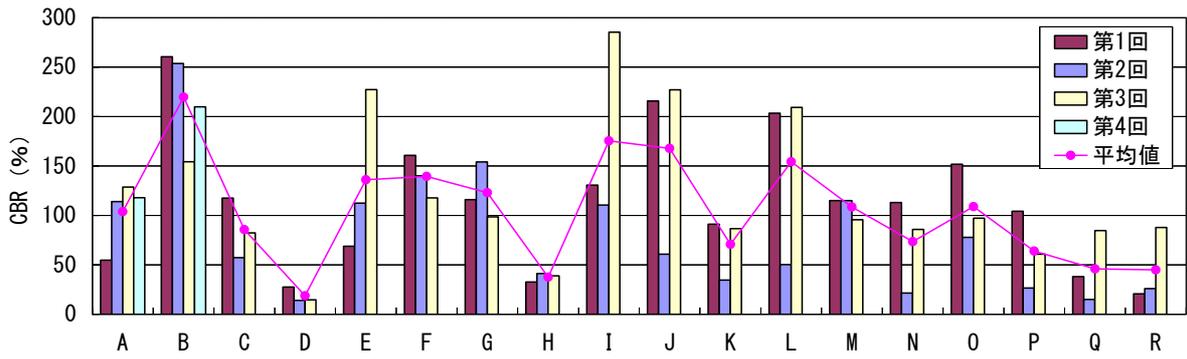


図-3 CBR 試験結果 (室内養生 56 日)

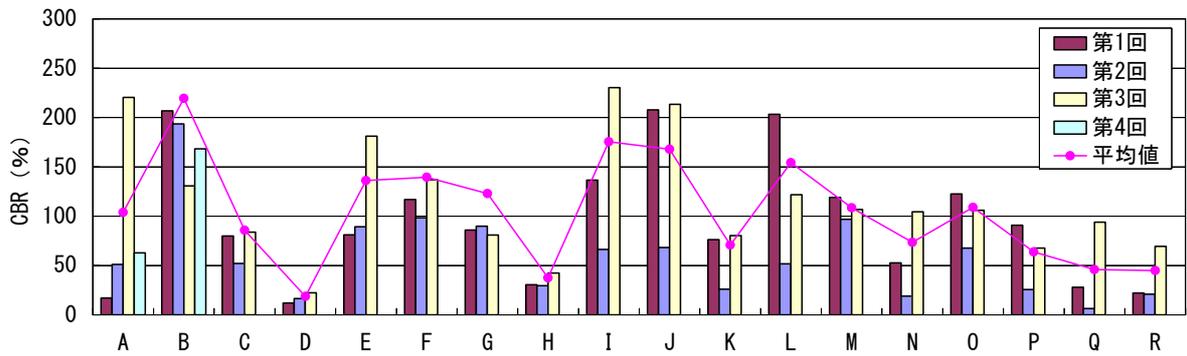


図-4 CBR 試験結果 (水浸養生 56 日)

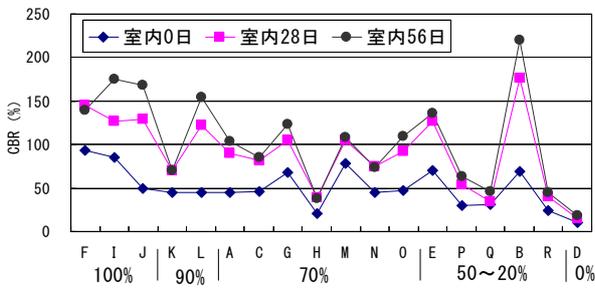


図-5 Co 混合割合と CBR (室内養生)

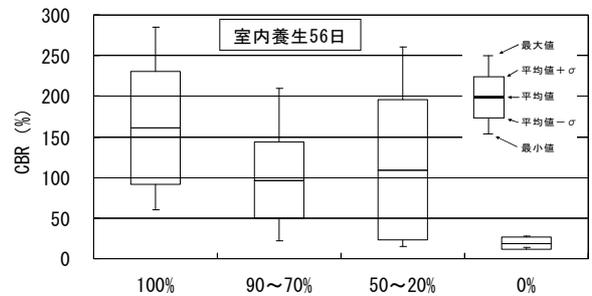


図-7 Co 混合割合と CBR (室内養生 56 日)

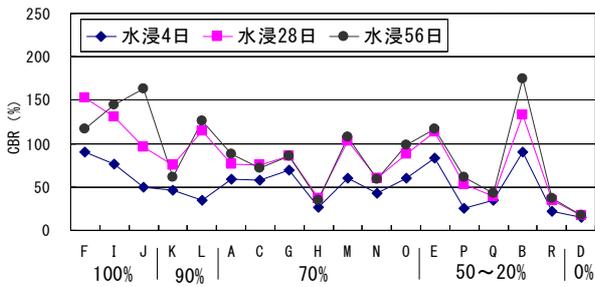


図-6 Co 混合割合と CBR (水浸養生)

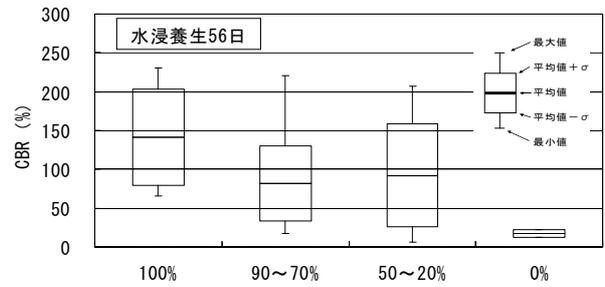


図-8 Co 混合割合と CBR (水浸養生 56 日)

## (2) ハンドスコップ掘削性試験

ハンドスコップを用いて(1)の CBR 試験後のモールド (容量 2.2L) から試料を全て掘削するまでの時間を測定した (写真-1)。養生条件③、⑥で実施した。

### 1) ハンドスコップ掘削性試験結果

図-9、10 にハンドスコップ掘削性試験結果 (室内養生 56 日及び水浸養生 56 日) を示す。個々の掘削時間では、7 材料 (A、B、E、F、H、J、L) で 30 分以上、特に E は 135 分と掘削性の非常に悪い材料が多くあることを確認した。また、CBR 値と同様に多くの材料は変動係数が大きく、製造時期の違いによる掘削時間のばらつきが大きかった。

次にプラント毎の平均値を図-11、表-2 に示す。横軸は Co の混合割合を示す。室内養生 56 日後の掘削時間は平均 20.4 分、最大 63.3 分と平均値を見ても掘削時間は大きく、再生砂は掘削性の良くない材料であることが分かった。CBR 試験と同様に Co 混合割合が 4 割程度の材料 (B) が最も掘削時間が大きくなった。また室内養生の方が水浸養生した材料より掘削時間が大きい傾向があった。

次に、(1)と同様に Co 混合割合により 18 材料を 4 グループに分けて、各グループ毎の平均値、最大値、最小値、標準偏差 ( $\sigma$ ) を示したグラフを図-12 (室内養生 56 日)、図-13 (水浸養生 56 日) に示す。他材料と傾向の異なる B 及び石灰が混合されている E を含む Co 混合割合 50~20% の掘削時間が最も大きくなっている。そのため、Co 混合割合による明確な傾向は見られなかった。しかし、B、E を除くと Co 混合割合が多

いと掘削時間が長くなる傾向は見られる (図-14)。

図-15 にコンクリート廃材 (以下、「Co 廃材」という。) とアスファルト廃材 (以下、「As 廃材」という。) の混合材料 (C、D、H、K、L、M、O、Q、R) の室内養生 56 日後のハンドスコップ掘削時間と CBR 値の関係を示す。

混合用材料として 1 つのプラントから同時期に製造された Co 廃材 100% の再生砂 (以下、「Co 再生砂」という。)、As 廃材 100% の再生砂 (以下、「As 再生砂」という。) を購入し、Co 再生砂と As 再生砂 (または断層用砂などの材料) を実験室内で混合した場合、混合する材料により傾向は異なるが、CBR 値とハンドスコップ掘削性には高い相関がある<sup>2)</sup>。しかし、各プラントで Co 再生砂と As 再生砂などを混合し製造された材料 (プラントや製造時期の違う材料) を使用した場合には、正の相関は見られるが、決定係数 ( $R^2$ ) は 0.3245 であった。



写真-1 ハンドスコップ掘削試験状況

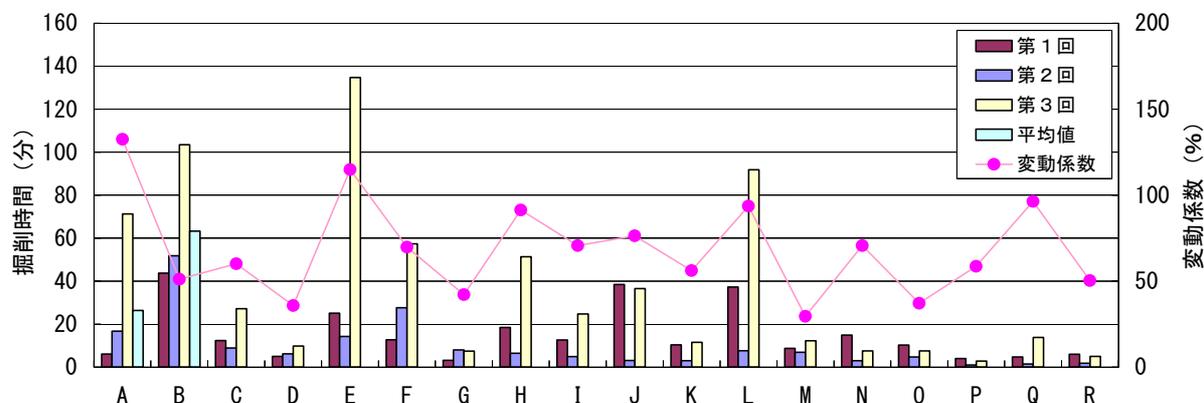


図-9 ハンドスコップ掘削時間 (室内養生 56 日)

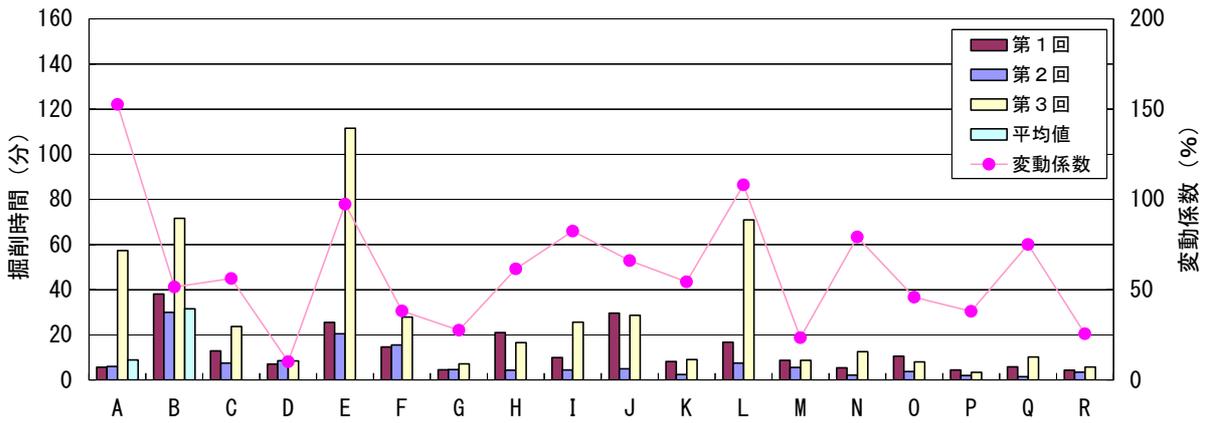


図-10 ハンドスコップ掘削時間（水浸養生56日）

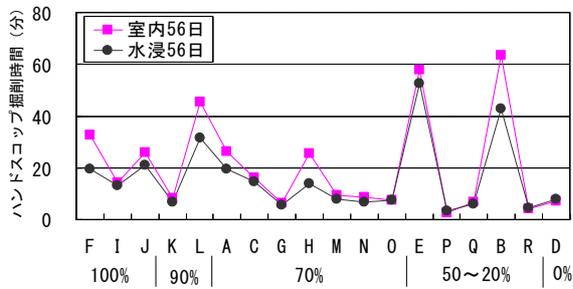


図-11 Co混合割合とハンドスコップ掘削時間（平均値）

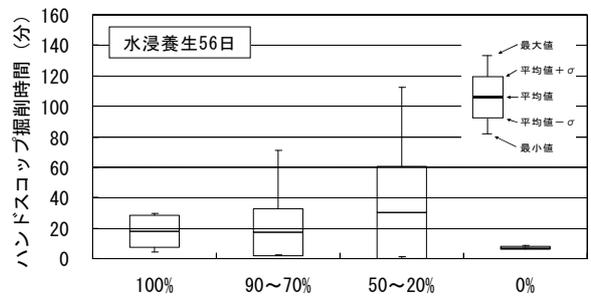


図-13 Co混合割合とハンドスコップ掘削時間  
（水浸養生56日）

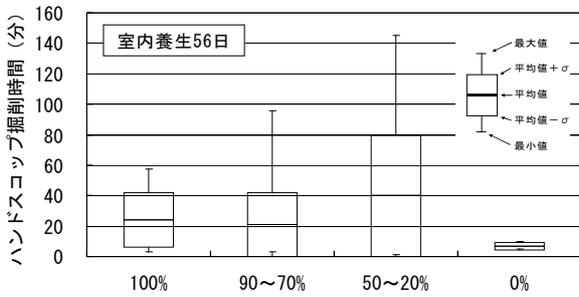


図-12 Co混合割合とハンドスコップ掘削時間  
（室内養生56日）

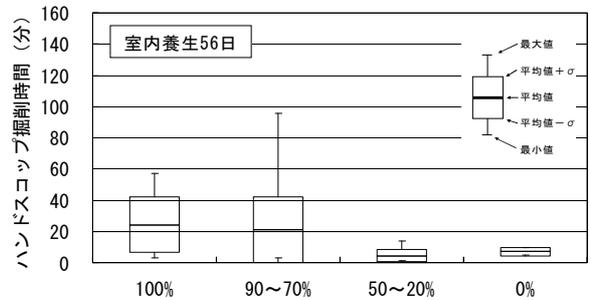


図-14 Co混合割合とハンドスコップ掘削時間  
（室内養生56日（B、Eを除いた場合））

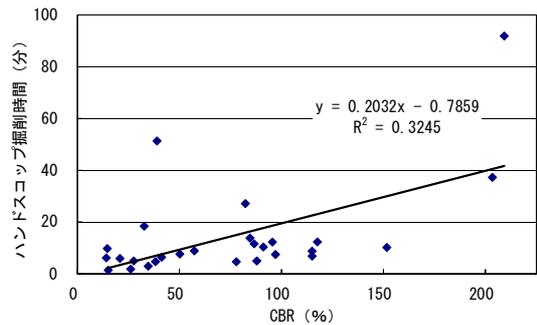


図-15 ハンドスコップ掘削時間とCBR

表-2 CBR 値及びハンドスコップ掘削時間の平均値

|     | Co混合割合 | CBR値 (%) |       |       |       |       |       | ハンドスコップ掘削時間 (分)※ |      |
|-----|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|------|
|     |        | 室内養生     |       |       | 水浸養生  |       |       | 室内養生             | 水浸養生 |
|     |        | 0日       | 28日   | 56日   | 4日    | 28日   | 56日   | 56日              | 56日  |
| A   | 70%    | 49.1     | 44.2  | 54.7  | 18.6  | 19.6  | 17.1  | 26.4             | 19.5 |
| B   | 40%    | 106.0    | 208.4 | 260.4 | 127.1 | 145.7 | 206.8 | 63.3             | 42.8 |
| C   | 70%    | 60.3     | 87.4  | 117.6 | 64.0  | 91.5  | 79.9  | 16.1             | 14.7 |
| D   | 0%     | 9.5      | 12.1  | 27.6  | 6.7   | 11.6  | 12.1  | 7.0              | 8.0  |
| E   | 50%    | 67.3     | 68.8  | 68.8  | 75.1  | 81.8  | 81.1  | 58               | 52.5 |
| F   | 100%   | 102.7    | 158.2 | 160.7 | 85.4  | 212.1 | 117.0 | 32.6             | 19.4 |
| G   | 70%    | 73.8     | 108.0 | 116.0 | 54.7  | 82.9  | 85.9  | 6.2              | 5.5  |
| H   | 70%    | 13.1     | 25.1  | 32.7  | 11.6  | 24.6  | 30.5  | 25.4             | 14.0 |
| I   | 100%   | 41.7     | 127.1 | 130.6 | 71.8  | 73.8  | 136.6 | 14.1             | 13.3 |
| J   | 100%   | 42.2     | 160.2 | 215.8 | 20.5  | 108.6 | 207.8 | 26.0             | 21.1 |
| K   | 90%    | 46.2     | 99.4  | 91.1  | 69.3  | 103.5 | 76.3  | 8.3              | 6.6  |
| L   | 90%    | 52.7     | 222.5 | 203.4 | 58.8  | 201.6 | 203.4 | 45.6             | 31.7 |
| M   | 70%    | 65.3     | 113.0 | 115.0 | 53.2  | 79.4  | 119.0 | 9.3              | 7.7  |
| N   | 70%    | 43.2     | 113.0 | 113.0 | 43.7  | 68.8  | 52.7  | 8.5              | 6.7  |
| O   | 70%    | 34.2     | 120.5 | 151.7 | 63.3  | 114.0 | 122.6 | 7.5              | 7.4  |
| P   | 50%    | 33.7     | 94.4  | 104.2 | 35.4  | 93.4  | 90.9  | 2.6              | 3.3  |
| Q   | 50%以下  | 23.6     | 13.6  | 38.2  | 28.1  | 38.2  | 28.1  | 6.7              | 5.9  |
| R   | 20%    | 9.3      | 29.1  | 20.8  | 19.6  | 27.1  | 22.1  | 4.3              | 4.5  |
| 平均値 |        | 48.6     | 100.3 | 112.4 | 50.4  | 87.7  | 93.9  | 20.4             | 15.8 |
| 最大値 |        | 106.0    | 222.5 | 260.4 | 127.1 | 212.1 | 207.8 | 63.3             | 52.5 |
| 最小値 |        | 9.3      | 12.1  | 20.8  | 6.7   | 11.6  | 12.1  | 2.6              | 3.3  |

※ ハンドスコップ掘削時間の目安：砂（CBR 値 24%）は1分程度

### (3) 粒度調整材料による掘削性の向上について

平成21年度に調査した材料A～Hの粒度とCBR値の関係(図-16)では、5mmふるい通過質量百分率が90%程度以上と0.45mmふるい通過質量百分率が10%程度以下の材料でCBR値が低くなる傾向があった。そこで、平成22年度に3回ずつ購入し調査したI～Rのうち、第1回購入材の試験結果から、CBR値が大きかった5材料(I, J, L, M, O)について第2回購入材の粒度を調整し(以下、「粒度調整材料」という。)、CBR試験(養生条件①, ②, ③)、ハンドスコップ掘削性試験(養生条件①, ③)を行い、掘削性向上の可能性について検討した。ここで、粒度調整材料は5mmふるいを100%

通過した材料とした。

粒度を調整した5材料のCBR試験結果の例を図17～18に示す。図示した2例と同様に全ての材料で時間の経過により強度増加しており、56日養生後では5材料中4材料で調整後のCBR値が大きくなった(室内56日養生後の粒度調整前と調整後の全ケースのCBR値は図-19)。室内養生56日後のハンドスコップ掘削性試験結果を図-20に示す。5試料全てで調整後の掘削時間が増加し掘削性が悪化した。CBR、ハンドスコップ掘削性ともに水浸養生後も同様の結果であった。以上のように5mm粒度のふるい通過質量を制限しても強度増加を緩和することはできなかった。

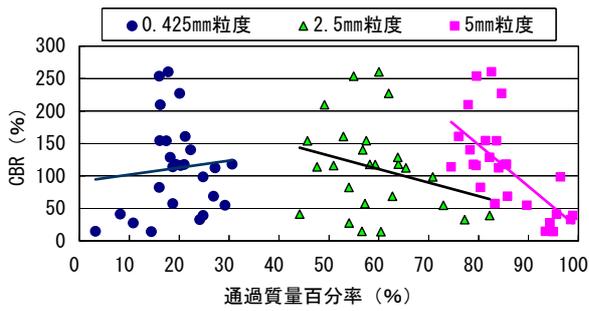


図-16 CBR と粒度

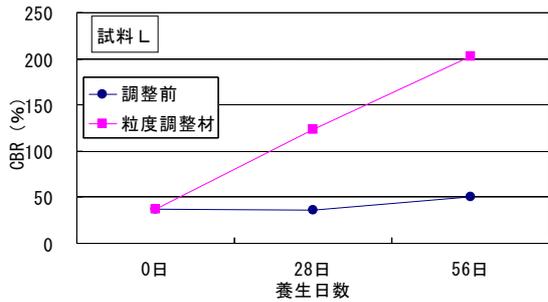


図-17 粒度調整材の CBR 試験結果 (1)

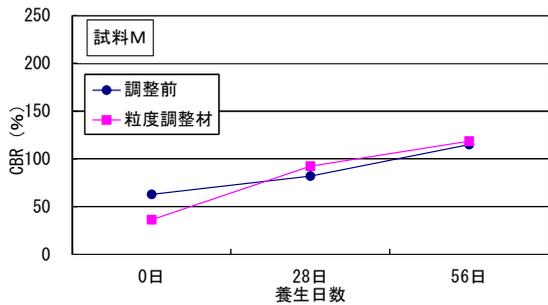


図-18 粒度調整材の CBR 試験結果 (2)

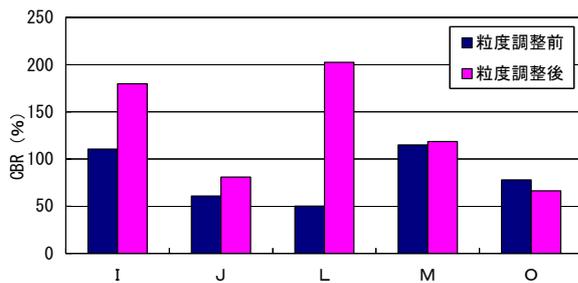


図-19 粒度調整材の CBR 試験結果 (3)

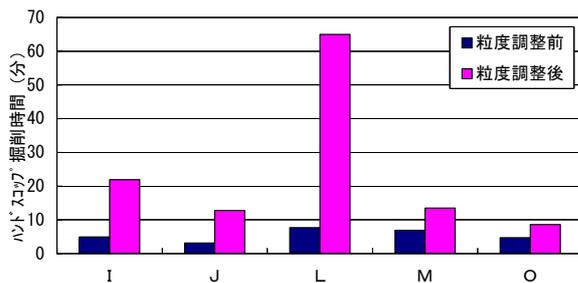


図-20 粒度調整材のハンドスコップ掘削性試験結果

## 5. 現場実験による施工性の確認

表-1 に示す材料を用いて施工性の確認実験を行った。施工は1層30cmとし、2層に分けランマー転圧により締固めた。土槽作製後、各土槽において、施工直後、2ヵ月後及び1年後に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。なお、平成21年度に施工したA～H（以下、「H21材料」という。）は1年後まで、平成22年度のI～R（以下、「H22材料」という。）は2ヶ月後まで確認した。

### (1) 土研式円錐貫入試験

本試験は、5kgの重錘を一定落下高さ（50cm）まで持上げ、鋼製のガイドロットに沿って自由落下させ、ロット先端のコーン（先端角度60°、直径30mm）が10cm貫入するまでの打撃回数により、動的貫入抵抗を測定するものである。試験結果（打撃回数Nd）を図-21、表-3に示す。貫入は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、0～50cmの平均値で整理した。

1年後まで調査したH21材料では、8材料中5材料でNd値が150回を超え、平均223回、最大540回と非常に大きな値となった。なお、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回以上であり、平均で基準値の14倍、最大で34倍と過剰な強度を持っていることが分かる。また、施工直後と2ヵ月後とのNd値の増加倍率は、平均1.61倍であったが、施工直後と1年後との増加倍率は、平均で7.93倍（6材料が4倍以上、そのうち3材料は10倍以上）と2ヵ月目以降に大きく強度増加していることが窺えた。As廃材100%のDでも、1年後のNd値は155回、施工直後との比較で9倍となっており、Co廃材が混入していない再生砂でも強度増加が著しかった。過去の調査<sup>2)</sup>で電子顕微鏡やX線回折分析による養生前の未水和セメントや養生後の水和物などの確認を行なったが、ほとんど検出できなかった。これらのことから、再生砂の強度増加の主因はコンクリートの水和反応でないと考えられる。また、Co廃材に改良土を混合すると強度増加が大きくなることがこれまでに分かっており<sup>2)</sup>、含水比調整材として石灰を混合しているEも1年後のNd値が540となり本調査での最大値を記録した。また、Co再生砂40%、As再生砂30%、砂30%

が混合されているBは、室内試験で長期強度が大きく増加したが、現場実験での強度増加は小さかった。

2 ヶ月後まで調査した H22 材料の施工直後と 2 ヶ月後との Nd 値の増加倍率は 1.5 倍以下が 8 材料であり、H21 材料より増加倍率が小さい傾向にあるが、H21 材料が 2 ヶ月目以降に Nd 値が大きく増加していることから、1 年後の Nd 値は増加するものと推測できる。

### (2) 剣スコップ掘削性試験

土研式円錐貫入試験後、1 層目（下層）において剣スコップによる掘削性試験を行った。試験は剣スコップを用いて人力で土槽を掘削し、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。剣スコップ掘削性試験結果を図-22、表-3 に示す。過去の実験から流動化処理土は 1 分程度、しゃ断層用砂は 30 秒程度の掘削時間である。<sup>3)</sup> 1 年後の掘削時間は、平均で 6 分 22 秒としゃ断層用砂の 12 倍以上、また最大は 19 分 25 秒と砂の 40 倍近い掘削時間となっており、再生砂は非常に掘削性の悪い材料であることを確認した。掘削時間の増加倍率（1 年後／施工直後）では平均 3.12 倍、最大 4.80 倍となり、時間の経過によりほとんどの材料で掘削性が大きく低下した。

(1) と同様に B は掘削時間でも大きな増加はなかった。また、Co 廃材 100% の F も強度増加が小さかった。しかし、Co 廃材 100% の I、J の 2 ヶ月後の掘削時間は共に 6 分を超えており、製造プラントに搬入される廃材により品質が大きくばらつくことが窺える。

### (3) 掘削性を向上させる材料混合

過年度の調査結果から、室内実験では Co 廃材に As 廃材またはしゃ断層用砂を混合すれば掘削性が向上する結果が得られたが<sup>2)</sup>、現場実験では Co 廃材と As 廃

材 50% ずつ混合した再生砂だけでなく、As 廃材のみの再生砂でも長期強度が増加し、As 廃材の混合では掘削性を向上させることはできなかった。

そこで、Co 廃材 100% の材料 F に埋戻し用砂を 25%（以下、「合成 25%」という。）または 50% 混合し（以下、「合成 50%」という。）、材料 A～R と同様に戸田橋実験場において、幅 50×長さ 120×深さ 70cm の土槽（覆土 10cm）を作製し、ランマー転圧により締固めた後、施工直後、2 ヶ月後、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試験を行った。混合材料は、コンクリートミキサを使用し 1 分程度混合した後、混合ムラの有無を目視により確認し使用した。

#### 1) 土研式円錐貫入試験結果

試験結果を図-23 に示す。合成 50% でも F (Co100%) より Nd 値が大きくなり、1 年後には硬化した。

#### 2) 剣スコップ掘削性試験結果

試験結果を図-24 に示す。合成 25% では F より掘削性が悪化した。合成 50% では掘削性が改善された。

#### 3) 掘削性の向上について

これまでの調査で、再生砂は各プラントに搬入される Co 廃材により品質が左右され、製造時期により強度増加の傾向が異なることや As 廃材のみの再生砂でも長期強度が増加することを確認した。しかし、プラントで製造した再生砂に 50% 以上の埋戻し用砂を混合すれば掘削性の向上が図れる可能性があることが分かった。ただし、F は結果的に長期強度の増加があまり大きくない材料であった。従って、長期強度の増加が大きい材料（I、J 等）や、As 廃材 100% の材料と埋戻し用砂を混合した場合の強度増加の変化が不明であり確認が必要である。

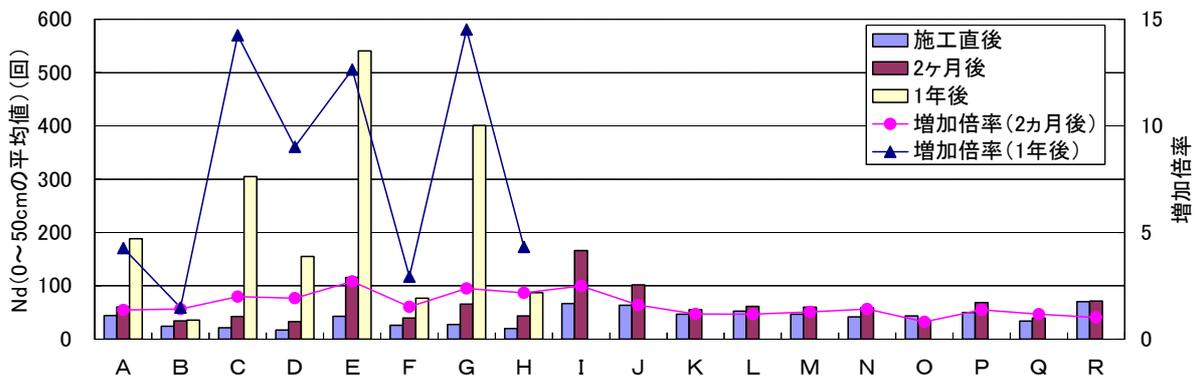


図-21 土研式円錐貫入試験結果

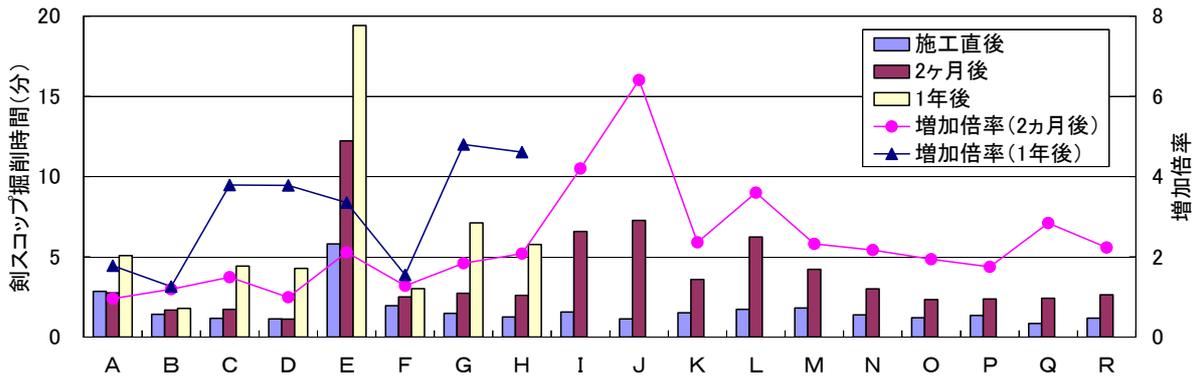


図-22 剣スコップ掘削性試験結果

表-3 Nd値及び剣スコップ掘削時間の平均値

| プラント | 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  |
| A    | 44.2      | 60.4  | 188.6 | 1.37 | 4.27  | 02分51秒     | 02分45秒 | 05分05秒 | 0.96 | 1.78 |
| B    | 24.2      | 34.2  | 35.8  | 1.41 | 1.48  | 01分25秒     | 01分41秒 | 01分47秒 | 1.19 | 1.26 |
| C    | 21.4      | 42.6  | 305.0 | 1.99 | 14.25 | 01分10秒     | 01分44秒 | 04分25秒 | 1.49 | 3.79 |
| D    | 17.2      | 33.0  | 155.2 | 1.92 | 9.02  | 01分08秒     | 01分07秒 | 04分17秒 | 0.99 | 3.78 |
| E    | 42.8      | 115.8 | 540.8 | 2.71 | 12.64 | 05分48秒     | 12分14秒 | 19分25秒 | 2.11 | 3.35 |
| F    | 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 |
| G    | 27.6      | 65.8  | 400.8 | 2.38 | 14.52 | 01分29秒     | 02分44秒 | 07分07秒 | 1.84 | 4.80 |
| H    | 20.2      | 43.8  | 87.4  | 2.17 | 4.33  | 01分15秒     | 02分36秒 | 05分46秒 | 2.08 | 4.61 |
| I    | 66.8      | 166.2 | —     | 2.49 | —     | 01分34秒     | 06分35秒 | —      | 4.20 | —    |
| J    | 63.8      | 102.0 | —     | 1.60 | —     | 01分08秒     | 07分16秒 | —      | 6.41 | —    |
| K    | 46.8      | 55.4  | —     | 1.18 | —     | 01分31秒     | 03分35秒 | —      | 2.36 | —    |
| L    | 52.4      | 61.4  | —     | 1.17 | —     | 01分44秒     | 06分14秒 | —      | 3.60 | —    |
| M    | 46.8      | 60.0  | —     | 1.28 | —     | 01分49秒     | 04分13秒 | —      | 2.32 | —    |
| N    | 41.8      | 59.0  | —     | 1.41 | —     | 01分23秒     | 03分00秒 | —      | 2.17 | —    |
| O    | 43.6      | 35.4  | —     | 0.81 | —     | 01分12秒     | 02分20秒 | —      | 1.94 | —    |
| P    | 50.0      | 68.8  | —     | 1.38 | —     | 01分21秒     | 02分22秒 | —      | 1.75 | —    |
| Q    | 34.0      | 39.8  | —     | 1.17 | —     | 00分51秒     | 02分25秒 | —      | 2.84 | —    |
| R    | 70.4      | 71.6  | —     | 1.02 | —     | 01分11秒     | 02分38秒 | —      | 2.23 | —    |
| 平均値  | 41.1      | 64.2  | 223.8 | 1.61 | 7.93  | 01分43秒     | 03分47秒 | 06分22秒 | 2.32 | 3.12 |
| 最大値  | 70.4      | 166.2 | 540.8 | 2.71 | 14.52 | 05分48秒     | 12分14秒 | 19分25秒 | 6.41 | 4.80 |
| 最小値  | 17.2      | 33.0  | 35.8  | 0.81 | 1.48  | 00分51秒     | 01分07秒 | 01分47秒 | 0.96 | 1.26 |

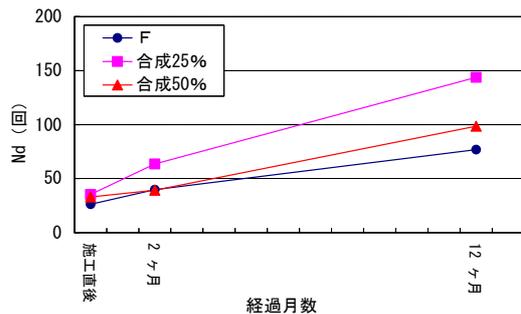


図-23 土研式円錐貫入試験結果

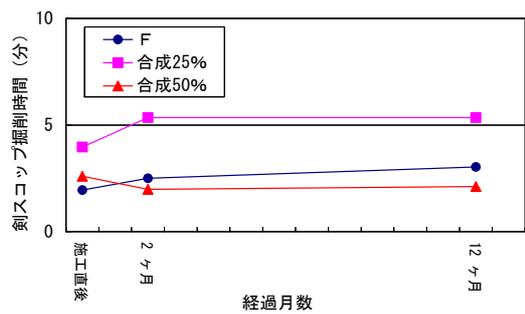


図-24 剣スコップ掘削性試験結果

## 6. まとめ

### (1) 再生砂の品質

- ① CBR 値は時間の経過により全材料で増加した。
- ② 同じプラントの製品でも製造時期により CBR 値のばらつきが大きかった。
- ③ 製造プラントでの Co 廃材とその他の材料の混合割合が同程度でも、出荷されるプラント毎に CBR 値はばらついた。
- ④ ハンドスコップ掘削性も CBR 値と同様に製造プラント、製造時期により強度増加の傾向が異なり、品質にばらつきがあった。
- ⑤ Co 廃材の混合割合が 3 割程度でも大きく強度増加する材料や 7 割程度含まれてもほとんど強度増加しない材料があるなど、強度増加の主因は Co 廃材の割合の多寡ではないことが分かった。

### (2) 現場実験による施工性確認

- ① 施工 1 年後の土研式円錐貫入試験では、半数以上の材料で Nd 値が 150 回を超え、平均 223 回、最大 540 回、施工直後との比較では平均 7 倍、最大 14 倍と硬化が著しいことを確認した。
- ② As 廃材 100%の再生砂でも 1 年後の Nd 値が 155 回、施工直後との比較で 9 倍と Co 廃材が含まれない材料でも硬化することが確認された。
- ③ ②から未水和セメントの水和反応が長期強度増加の主因ではないと考えられる。
- ④ 施工 1 年後の剣スコップによる掘削性試験では、平均 6 分 22 秒、最大 19 分 25 秒、施工直後との比較で

は、平均 3.1 倍、最大 4.8 倍となっており、掘削性が大幅に低下した。

- ⑤ Co 廃材 100%の再生砂でも、強度増加の著しい材料と強度増加の小さい材料があった。

### (3) 掘削性を向上させる材料

- ① プラントに搬入されるコンクリート廃材の種類、質などプラントではコントロールできない要因により製造される再生砂の品質が左右されるため、Co 混合割合を指定することにより強度増加を緩和することは困難である。
- ② プラントで製造した再生砂について、5mm 粒度のふるいを 100%通過させ粒度を調整した材料でも強度増加を緩和することはできなかった。しかし、細粒分の粒度制限を行うことで長期強度が緩和する可能性はある。
- ③ 1 年後の現場実験の結果では、Co 廃材 100%の再生砂に埋戻し用砂を 50%混合することにより、掘削性の向上が可能であった。しかし、他のプラントで製造した再生砂や As 廃材 100%の再生砂などと混合した場合の長期強度の変化は不明であり確認する必要がある。

## 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、関係各位に紙面を借りて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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