

## 固化処理底泥土と突き固めた土からなる複合土の一面せん断試験

北島 明 福島 伸二<sup>\*1</sup>  
土佐内 優介

### 概 要

筆者らは、計画的な改修が困難な老朽化したフィルダムやため池の堤体補強や漏水防止を目的に、池内に堆積した底泥土を固化処理して築堤土に活用できる砕・転圧盛土工法<sup>1)</sup>を開発し、数箇所 of 堤体改修に適用してきた。また、フィルダムの堤体嵩上げに砕・転圧盛土工法を適用する場合を想定して、堤体嵩上げ時の堤体ゾーニングを提案している。

本稿では、砕・転圧盛土工法により嵩上げた堤体と既設堤体からなる複合構造の堤体挙動を調べるために、固化処理底泥土と突き固めた土からなる複合土の一面せん断試験の結果を報告するものである。

### **Direct box shear test on compound ground with cement-mixed muddy soil and embanked soil.**

### **Abstract**

Most of old fill-type dams have led to sediment build-up in reservoirs, causing pollution and loss of reservoir capacity. In general, this sediment has a high-water-content and is made up of very soft clayey soil. We have developed a new type method to repair damaged embankments by using a mixture of sediment and cement. And we have proposed a zoning pattern for the embankment when increasing the height of the embankment.

In this paper, we conducted a direct box shear test on compound ground with cement-mixed muddy soil and embanked soil, to examine the properties of the compound ground.

キーワード: 一面せん断試験 複合地盤  
固化処理土 既設堤体 強度

\*1 建設本部 土木エンジニアリングセンター

## §1. はじめに

筆者らは、計画的な改修が困難な老朽化したフィルダムやため池の堤体補強や漏水防止を目的に、池内に堆積した底泥土を固化処理して築堤土に活用できる砕・転圧盛土工法<sup>1)2)</sup>を開発し、数箇所の堤体改修に適用してきた。また、フィルダムの堤体嵩上げに砕・転圧盛土工法を適用する場合を想定して、堤体嵩上げ時の堤体ゾーニングを提案している。

本稿では、砕・転圧盛土工法により嵩上げた堤体と既設堤体からなる複合構造の堤体挙動を調べるために、固化処理土底泥土と突き固めた土からなる複合土の一面せん断試験の結果を報告するものである。

## §2. 嵩上げ規模による堤体ゾーニングの相違

通常の築堤土による堤体嵩上げでは、築堤土の強度面からの制約から、嵩上げ規模により嵩上げ堤体のゾーニングパターンが大きく異なる。すなわち嵩上げ高  $H_R$  が既設堤体の堤高  $H_0$  と同じ程度以下の場合 ( $H_R < H_0$ ) には既設堤体背面に均一型あるいはゾーン型の堤体を載せて嵩上げをする。嵩上げ規模がさらに大きく、 $H_R$  が既設堤体の堤高  $H_0$  と同程度以上の場合 ( $H_R \geq H_0$ ) には図 1 に示すように既設堤体を仮締切り堤程度での活用にとどめ、その下流側に独立した中央コア型堤体を築造するのが一般的である。

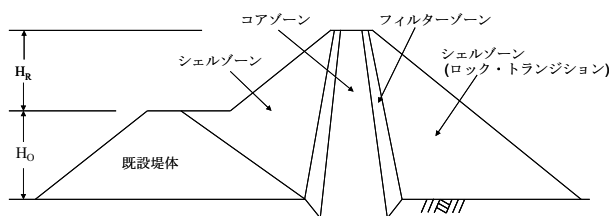


図1 通常の築堤土による堤体嵩上げの例

これに対して、砕・転圧盛土工法による嵩上げは、図 2 に示すように、強度と遮水性の両面に優れた固化処理した底泥土からなる砕・転圧土を用いることで  $H_R$  と  $H_0$  の比に関係なく同形式でのゾーニングパターンが可能である。すなわち、既設堤体とは別に独立した堤体を築造することなく、強度と遮水性に優れた砕・転圧土で築造されたコアゾーンが堤体の安定性確保に大きな役割を期待できる堤体嵩上げが可能であり土工量を大幅に削減できる。なお、嵩上げ堤体のゾーニングパターンは図 3 に示すように、おおよその嵩上げ規模  $H_R/H_0$  に応じてコアゾーンとシェルゾーンの境界面角度  $\phi$  (鉛直方向から上流側への角度を正とする) により分類できる。すなわち、嵩上げ規模がおおよそ  $H_R < H_0/2$  程度で小さい場合には、新設・既設堤間の軸間距離が小さいので、コア・シェルゾーン境界面角度  $\phi$  は上流側に傾斜することになる ( $\phi > 0$ )。嵩上げ規模が  $H_R \approx H_0/2$  程度まで大きくなると、新設・既設堤間の軸間距離もやや大きくなりコア・シェルゾーン境界面がほぼ鉛直 ( $\phi \approx 0$ ) に近い値になる。また、嵩上げ規模が  $H_R > H_0/2$  を超えるように大きくなる場合には、新設・既設堤間の軸間距離が大きくなり、コア・シェルゾーン境界面角度  $\phi$  は下流側に傾斜するようになる ( $\phi < 0$ )。いずれにせよ、砕・転圧盛土工法による堤体嵩上げは固化材による粘着力が卓越した砕・転圧土と、通常の築堤土による既設堤体等からなる複合構造堤体となる。

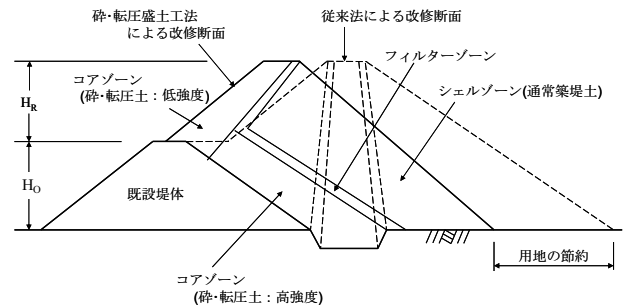


図2 砕転圧土による堤体嵩上げの例

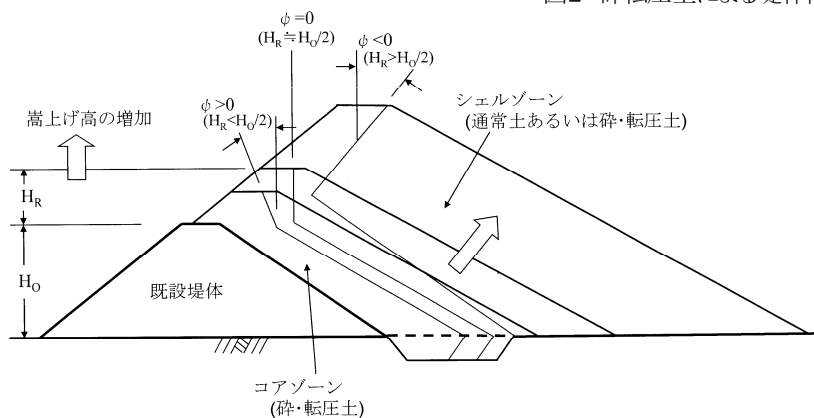


図3 嵩上げ規模に応じたコアゾーンの概念図

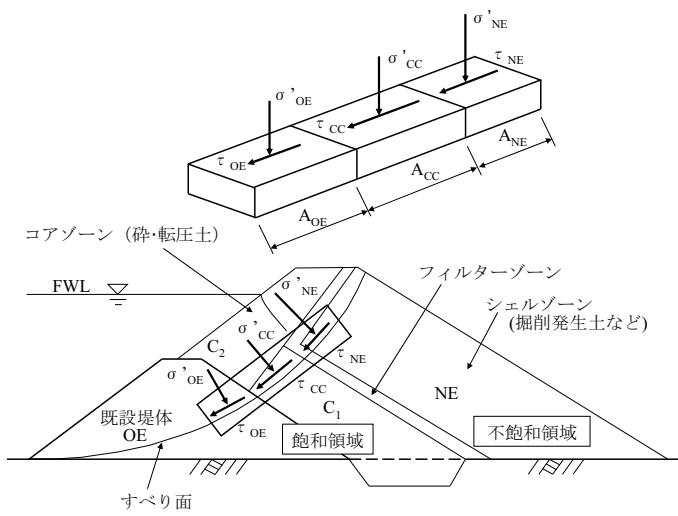


図4 嵩上げにおける破壊モードのモデル化

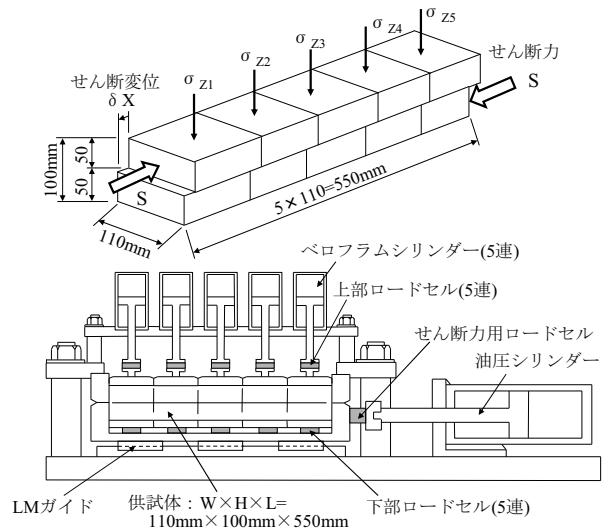


図5 分割載荷型一面せん断試験機

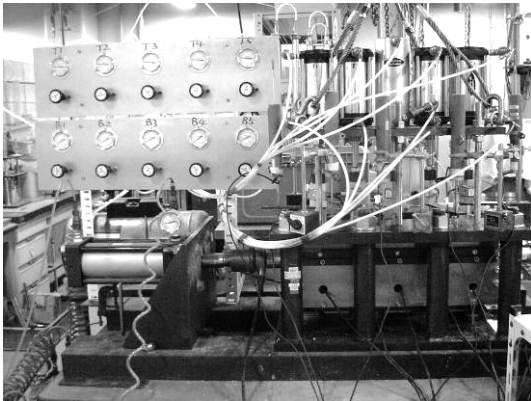


写真1 分割載荷型一面せん断試験機



写真2 せん断箱部分(側面部分に摩擦軽減層)

### §3. 砕・転圧土を含む複合構造堤体の破壊モードのモデル化

砕・転圧土と通常の築堤土からなる嵩上げ堤体は既設堤体と、嵩上げ部の砕・転圧土ゾーンとその背面の通常の築堤土からなる複合構造堤体となり、その破壊モードは図4に概念的に示すようにモデル化できる。このような破壊モードは、図5に概念的に示すような、細長い直方体形の供試体を5つに分割して、各分割部にそれぞれ独立に垂直応力  $\sigma_z$  を載荷できる一面せん断試験機により再現した。供試体は幅  $W=110\text{mm}$ 、高さ  $H=110\text{mm}$ 、長さ  $L=5 \times 110=550\text{mm}$  であり、5分割したうちの砕・転圧土のせん断面積  $A_{CC}$  と突き固めた土のせん断面積  $A_S$  の割合を変えた複合土を準備した。複合土は供試体全体のせん断面積  $A (=A_{CC}+A_S)$  に占める砕・転圧土のせん断面積の分担比  $n=A_{CC}/A$  で表示した。

### §4. 供試体の作製

#### 4.1 モデル化試料の準備

一面せん断試験における供試体のうち、既設堤体をモデル化した通常の築堤土部分は乾燥状態の広島県産のまさ土 ( $D_{max}=19\text{mm}$ 、均等係数  $U_c=16$ ) を使用し、最適含水比  $w_{opt}=13.7\%$  に含水調整して準備した。また、砕・転圧土部分は乾燥状態の藤の森粘土と上述のまさ土を体積比 1 : 0.5 の割合で混合し、含水比  $w=35\%$  に調整した混合泥土をモデル化底泥土とした。モデル化底泥土をセメント系固化材で固化処理して初期固化期間  $t_s=3$  日の養生期間をおき、砕いて直ちに転圧した砕・転圧土を作製した。砕・転圧土の目標強度は  $t=t_s+t_{cc}=3+7=10$  日の時の一軸圧縮強さ  $q_{u10}$  を目標強度としてスラリー状の固化材を添加した。

## 4.2 供試体の作製方法

複合土一面せん断試験の供試体は以下の手順で作製した。砕・転圧土部分はせん断箱内で1週間の養生期間が必要であるため、試験は1回/週の実施となる。せん断箱の側面にはシリコングリスと厚さ0.25mmのメンブレンシートからなる摩擦軽減層を設けている。せん断箱内のそれぞれのブロックごとに試料を突き固めて作製するため、先に作製するブロックについてはステンレス板による隔壁を設けて突き固めを実施した。せん断箱側底面および隔壁で囲まれたブロックを突き固めて作製した後、隔壁を除去して隣のブロックを作製した。なお、隔壁を使用して突き固めるのは隣同士が異なる試料による場合で、同一の試料による連続するブロックについては隔壁を設けず一度に作製した。

### 1) 初期固化土の作製

- ① 藤の森粘土（乾燥状態）、まさ土（乾燥状態）および水を計量し、ミキサーで約2分間混合し、モデル化底泥土を作製する。
- ② 固化材と水を計量し、混合して固化材スラリーを作製する。
- ③ モデル化底泥土に固化材スラリーを添加し、ミキサーで約2分間混合する。
- ④ D/H=100mm/200mmの三分割モールド内に詰め、3日間( $t=t_S=3$ 日)恒温恒湿室で養生させて初期固化土を準備する（写真3）。

### 2) 砕・転圧土部分の作製

- ① 初期固化土をモールドから取り出してストレートエッジ等により粒径10mm程度の粒状に解砕する（写真4）。
- ② 解砕した固化処理土を複合土一面せん断試験機のせん断箱内の所定のブロックに突き固めて作製する。このとき、標準締固め試験(JGS-T711)の突固め方法のA法と同じ締固めエネルギー $EC=550kJ/m^3$ になるように、各層について1.525kgランマー(落下高さ20cm)により突き固めて作製する（写真6）。

### 3) まさ土部分の作製

- ① 乾燥状態のまさ土を最適含水比 $w_{opt}=13.7\%$ に含水調整する
- ② 締固め度をD-値=95%になるようにエネルギーを調整して突き固めて作製する（写真5）。



写真3 初期固化土の作製



写真4 初期固化土の解砕

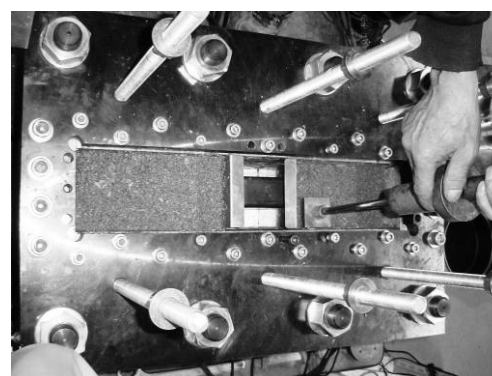


写真5 まさ土部分の作製



写真6 砕・転圧土部分の作製

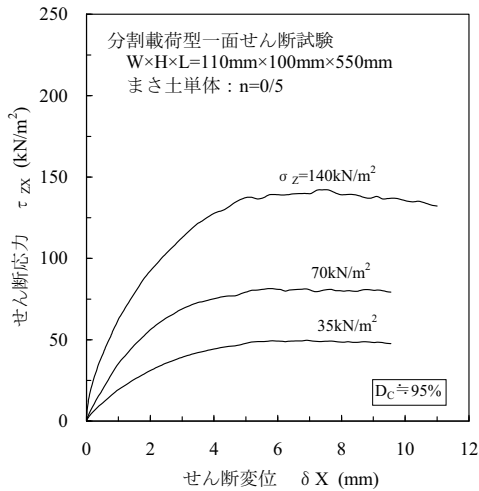


図6 せん断応力～変位 ( $n_v=0/5$ )

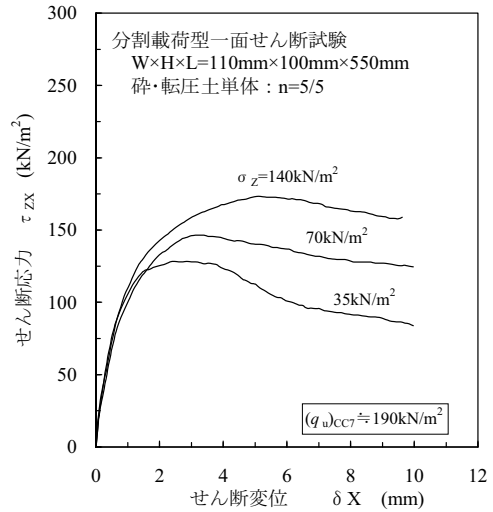


図7 せん断応力～変位 ( $n_v=5/5$ )

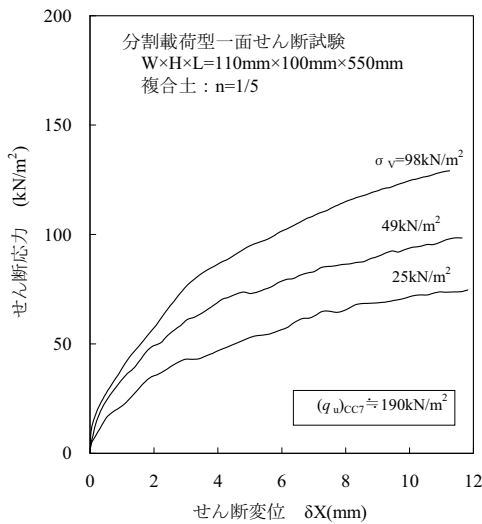


図8 せん断応力～変位 ( $n_v=1/5$ )

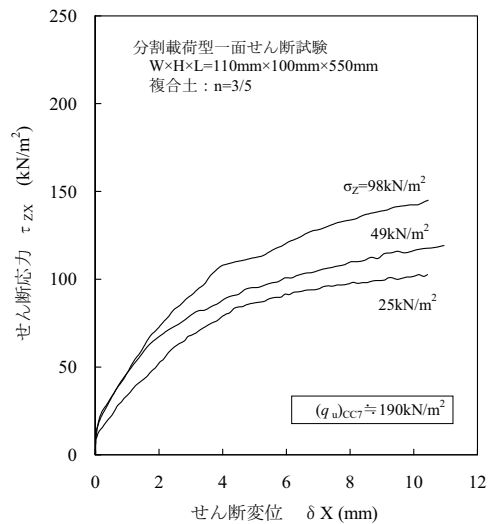


図9 せん断応力～変位 ( $n_v=3/5$ )

## §5. 試験結果

複合土の一面せん断試験は垂直応力  $\sigma_z$  を一定にして毎分  $\delta X=0.25\text{mm}$  の一定変位で実施した強度特性を調べた。砕・転圧土は、目標とする粘着力  $c_{cc}$  を  $c_{cc}=100$ 、 $150$ 、 $200\text{kN/m}^2$  になるように一軸圧縮強さ  $(q_u)_{cc} \doteq 190$ 、 $290$ 、 $380\text{kN/m}^2$  で準備した。図6には突き固めたまさ土単体 ( $n=0/5$ ) の一面せん断試験によるせん断応力  $\tau_{zx}$  とせん断変位  $\delta X$  の関係を、図7には、 $(q_u)_{cc} \doteq 190\text{kN/m}^2$  の砕・転圧土だけからなる供試体 ( $n=5/5$ ) の  $\tau_{zx} \sim \delta X$  関係を示す。また、図8、9にはそれぞれ  $n=1/5$ 、 $3/5$  の複合土の  $\tau_{zx} \sim \delta X$  関係を示す。これらの図から、 $\sigma_z$  による差が少なく  $\delta X=2 \sim 3\text{mm}$  になると  $\sigma_z$  により差が現れ

ており、せん断変形が進行しすべり面が形成されるような段階になると摩擦性材料と似た挙動を示すものと考えられる。

以上のまさ土と砕・転圧土からなる複合供試体の試験から得られたせん断強度  $\tau_f$  と  $\sigma_z$  の関係を図10に示す。複合土の  $\tau_f$  は砕・転圧土のせん断強度  $\tau_{cc}$  と突き固めたまさ土のせん断強度  $\tau_s$  から単純に面積合計

$$\tau \cdot A = \tau_{cc} \cdot A_{cc} + \tau_s \cdot A_s$$

からなるとすると

$$\tau_f = (1-n) \cdot \tau_s + n \cdot \tau_{cc}$$

により表せる。まさ土と砕・転圧土のせん断強度はそれぞれの  $\tau_f \sim \sigma_z$  関係を直線近似した強度パラメータ

$$\tau_s = c_s + \sigma \cdot \tan \phi_s, \quad \tau_{cc} = c_{cc} + \sigma \cdot \tan \phi_{cc}$$

により表示できる。まさ土 ( $n=0/5$ ) の  $c_s$  と  $\phi_s$  と、砕・転

圧土 (n=5/5) の $c_{cc}$ と $\phi_{cc}$ は図10の $\tau_f \sim \sigma_z$ 関係をそれぞれを直線近似した切片と傾きから

$$\text{まさ土} : c_s = 19.6 \text{ kN/m}^2, \phi_s = 41.1^\circ$$

$$\text{砕・転圧土} : c_{cc} = 114 \text{ kN/m}^2, \phi_{cc} = 23.1^\circ$$

として得られる。複合土の強度は $\tau_f \sim \sigma_z$ 関係を合成強度パラメータにより ( $c_T, \phi_T$ ) 表示すると

$$\tau_f = c_T + \sigma \cdot \tan \phi_T$$

となり、それぞれの強度成分は

$$\text{合成粘着力} : c_T = (1-n) \cdot c_s + n \cdot c_{cc}$$

$$\text{合成内部摩擦角} : \tan \phi_T = (1-n) \cdot \tan \phi_s + n \cdot \tan \phi_{cc}$$

となる。図11に一連の複合土の試験から得られた $c_T \sim n$ 関係を、図12に $\phi_T \sim n$ 関係を示す。合成粘着力 $c_T$ については実験値が上式の直線関係よりやや大きい。また、合成内部摩擦角 $\phi_T$ については、砕・転圧土の強度レベルによらず適切に表せることがわかる。

### §6. おわりに

複合土のせん断強度は砕・転圧土と突固めたまさ土の面積分担比nにより算定される値に近いが、これよりやや大きい値となっていることがわかった。この原因については、砕・転圧土と突固めたまさ土の強度や剛性の相違によるものと考えられるが、近似的には面積分担比により推定できるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) (社)農業農村整備情報総合センター：ため池改修工事の効率化、一砕・転圧盛土工法によるため池堤体改修、設計・施工・積算指針(案)、2006。
- 2) (社)農業農村整備情報総合センター：砕・転圧盛土工法によるフィルダム堤体改修、一堆積土・発生土を有効利用したフィルダムのリニューアル技術、設計・施工・積算指針(案)、2009。
- 3) 北島 明、福島伸二、谷 茂：固化処理底泥土と突固めた土からなる複合土の一面せん断試験、第45回地盤工学研究発表会、2010

#### ひとこと

本年度は、砕・転圧盛土工法により堤体改修を行っている大原ダムおよび谷田大池の技術監理に心血を注ぐことで、ブラゼル&マーソンの両助っ人への感謝の気持ちを表したいと思いを。



北島 明

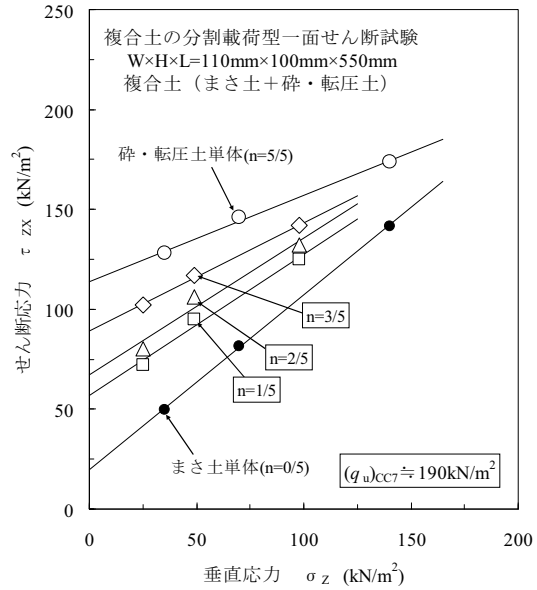


図10  $\tau_f \sim \sigma_z$ 関係 ( $(q_u)_{cc} \cong 190 \text{ kN/m}^2$ )

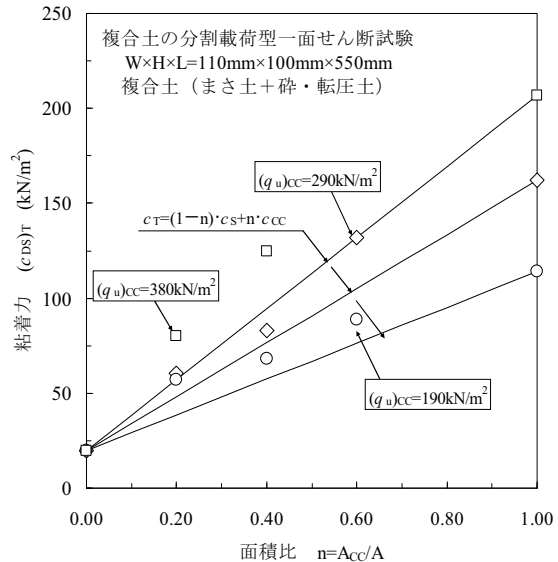


図11 複合土の合成粘着力  $c_T \sim$ 面積分担比 n 関係

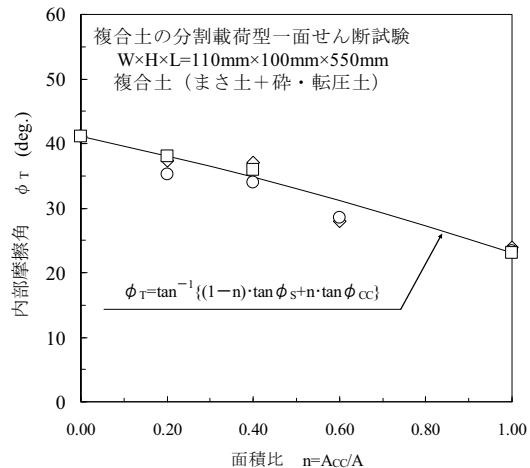


図12 複合土の合成内部摩擦角  $\phi_T \sim$ 面積分担比 n 関係