改良型針貫入試験の固化改良土（砕・転圧盛土工法）の強度評価法の検討

福島伸二¹, 北島 明², 堀田崇由²

1 フジタ・土木本部

2 フジタ・技術センター

概 要

筆者らは固化改良土によるフィルダム堤体改修技術である砕・転圧盛土工法における強度管理に針貫入試験を適用してきたが、対象となる固化改良土の強度レベルが一軸圧縮強さ $q_u \leq 300 \sim 1000 \text{ kN/m}^2$ と一般の地盤改良工法でのものより低く、試験針に直径 $d=0.84 \text{ mm}$ の 2 号木綿針を用いる通常型針貫入試験は貫入抵抗 P が小さく、強度推定での信頼性に問題があった。そこで、 P が大きくなるように d を木綿針より大きく $d=4 \text{ mm}$ 、先端角 $\theta=30^\circ$ のコーン型試験針などを用いた改良型針貫入試験の適用性を室内試験の実施により調べ、以下の結論が得られた。針貫入試験から得られる針貫入の P と貫入量 δ の関係は、通常型試験の基本原則と同様に針貫入の表面積に比例するので、強度推定が $P \sim \delta$ 関係の二次曲線の変化を考慮した貫入勾配 N_p を導入して得られる両対数図上の一軸圧縮強さ q_u との間の直線関係により行うことができる。

キーワード：針貫入試験，固化改良土，一軸圧縮強さ，強度管理

1. はじめに

砕・転圧盛土工法¹⁾²⁾は老朽化したフィルダムやため池の堤体改修（補強や漏水防止）を貯水池内に堆積した底泥土を所要の強度と遮水性を有するように固化改良した築堤土（砕・転圧土）により行うもので、これまでに 13 事例に適用されている。筆者らは砕・転圧盛土工法における固化改良土の強度管理に針貫入試験の適用性について検討してきたが、強度推定時の信頼性に問題があった³⁾⁴⁾。理由は、試験針に直径 $d=0.84 \text{ mm}$ の木綿針を用いる通常型針貫入試験は $q_u=1 \sim 10 \text{ MN/m}^2$ の軟岩を対象としているため⁵⁾、砕・転圧盛土工法における固化改良土の強度レベルが $q_u=300 \sim 1000 \text{ kN/m}^2$ と低く、強度測定時の貫入抵抗 P が小さ過ぎるからである。そこで、本稿は針貫入試験を低強度の固化改良土の強度管理にも適用するために、試験針の d を通常型試験で使用する木綿針に比較して P が大きくなるように $d=4 \text{ mm}$ と大径化し、かつ先端角度 $\theta=30^\circ$ のコーン型試験針を用いた改良型針貫入試験を試作し、その適用性を室内試験の実施により調べた結果を報告する。

2. 針貫入試験の強度測定原理

針貫入試験は軟質な岩石に $d=0.84 \text{ mm}$ の試験針（JIS S3008 2 号木綿針）を一定速度で貫入させたときの P と貫入量 δ の比例関係より、 $\delta=10 \text{ mm}$ における針貫入勾配 N_p ($=P/\delta$ (N/mm)) を導入して q_u (kN/m²) を推定するもので、

図1 針貫入試験の貫入抵抗と貫入深さの関係

試験を現場で簡単に実施できる利点を有している⁶⁾。 q_u と N_p の関係は、市販の針貫入試験機（丸東製作所製軟岩ペネトロ計 SH-7⁷⁾）に付属した相関図に強度換算式として $q_u=418 \cdot N_p^{0.978}$ が与えられている。上式は $q_u=2 \sim 30 \text{ MN/m}^2$ の軟岩、 $q_u=0.5 \sim 10 \text{ MN/m}^2$ の固化改良土について実施された試験から得られたものである⁵⁾。

針貫入試験による強度測定の原理について考えると以下のようなだろう。針貫入試験は、図1に概念的に示すように、試験針を供試体中に深さ δ まで一定速度で貫入させると P と δ の間に比例関係が得られる。 P と貫入した針周面に発揮されるせん断応力 τ の関係は、 d が小さく先端の尖った針の先端抵抗を無視すると、周面摩擦のみからなり $P=\pi \cdot d \cdot \tau \cdot \delta$ により表すことができる。そして、 P は δ の小さい針貫入周面に作用する応力レベルが低いことから、内部摩擦角の影響を無視すると τ を粘着力 c に等しいとけるので、 $P=\pi \cdot d \cdot c \cdot \delta$ となる。よって、 c と q_u の関係を単純

図2 改良型針貫入試験 Mk.I の貫入針と貫入抵抗

写真1 Mk. I 用コーン・ロッド型試験針

化して考えて $c=q_u/2$ とおくと $P=\pi \cdot d \cdot (q_u/2) \cdot \delta$ となり、 P と δ が比例しているのだから $N_P=P/\delta$ より

$$q_u=2 \cdot (P/\delta) / (\pi \cdot d) = 2 \cdot N_P / (\pi \cdot d) \quad (1)$$

が得られる。すなわち、針貫入試験は P が貫入した針の周面積に比例した c による摩擦抵抗からなり、 q_u と N_P の間の比例関係を利用した強度試験ということが出来る。

3. 改良型針貫入試験による強度

改良型針貫入試験は、図2に示すように、強度推定の精度を上げるために P が大きくなるように、従来型試験で使用する2号木綿針の d より $d=4\text{mm}$ (あるいは 2mm) と大きくしたロッド先端の角度を $\theta=30^\circ$ のコーン状にしたコーン・ロッド型の試験針 Mk. I を採用した。写真1は使用した試験針 Mk. I の外観を示す。試験針を δ だけ貫入させた時の P は、前述の通常型試験と同様に c のみによる表面摩擦からなるとすると、コーン部の貫入 δ_c による抵抗力 P_c とロッド部の貫入 $\delta - \delta_c$ による抵抗力 P_R からなり ($P=P_c + P_R$)、各部分の表面積が $A_c=\pi \cdot \tan(\theta/2) \cdot \delta_c^2 / \cos(\theta/2)$ 、 $A_R=\pi \cdot d \cdot (\delta - \delta_c)$ となるから

$$P_c=(q_u/2) \cdot A_c \cdot \cos(\theta/2)=(\pi/2) \cdot q_u \cdot \delta_c^2 \cdot \tan(\theta/2) \quad (2)$$

$$P_R=(q_u/2) \cdot A_R=(\pi \cdot d/2) \cdot q_u \cdot (\delta - \delta_c) \quad (3)$$

で与えられる。 P_c は δ_c の二乗に比例する。また、 P_R は $\delta - \delta_c$ に比例するので、貫入勾配 $N_P=(P-P_c)/(\delta - \delta_c)$ を導入すると式(1)と同形になる。

4. 改良型針貫入試験 Mk. I の適用性

砕・転圧盛土工法ではダムやため池の貯水池内に堆積した底泥土単体、あるいはこれに既設堤体などからの掘削土を加えた混合泥土からなる原料土に、所要の強度を有するようにセメント系固化材の添加混合により固化改良して堤体土に使用するもので、強度だけでなく遮水性も要求さ

図3 モデル化底泥土試料の粒度曲線

写真2 改良型針試験の実施状況 (Mk. II 試験)

れることが多い。固化改良土が遮水性をもつためには、原料土にある程度以上の細粒分、すなわち 0.075mm 以下のシルト・粘土分量として細粒分含有率 $F_c=40\sim 50\%$ 以上、 0.005mm 以下の粘土分として含有率 $C_c=30\%$ 以上含んでいる必要があるとされている¹⁾²⁾。そこで、モデル化底泥土には上記条件を満足させるため、図3に粒度曲線を示すように、藤の森粘土 FM に粘土分を多く含むカオリン NN を質量比 1:4.0 で加え、さらに固化材を均一に混合しやすい流動性が得られるように含水比 $w=60\%$ に水分調整をして使用することにした。

針貫入試験に用いる固化改良土供試体は水平地盤状態を再現するために、モデル化底泥土にセメント系固化材 (高有機質土用) を添加して小型パドル型ミキサーにより2分間だけ攪拌混合し、まだ固まらない状態にあるうちに直径 $80\text{mm} \times$ 深さ 50mm の口広で底浅のビーカー内に詰めて所定期間だけ固化させて準備した。固化改良土の強度は固化材添加量を試験対象とする強度レベルをカバーできるように $\Delta M_c=75, 100, 150\text{kg/m}^3$ と3水準で変え、また固化日数を $t=10\sim 28$ 日の間で種々変えることで制御した。針貫入試験は針をビーカー内の固化改良土面に P を安定的に測定できる変位速度 3.5mm/分 で貫入させて実施した。試験中の P は固化改良土供試体の強度レベルに応じて定格容量を $50\text{N}, 100\text{N}, 200\text{N}$ のうちから変えたロードセルにより測定し、 δ は定格容量 50mm の摺動抵抗線式変位計

図4 $d=4\text{mm}$ の針貫入試験 Mk.I による $P\sim\delta$ 関係 ($q_u=380\text{kN/m}^2$) 図5 $d=4\text{mm}$ の針貫入試験 Mk.I による $P\sim\delta$ 関係 ($q_u=1148\text{kN/m}^2$)

により測定することで実施した。写真2は後述するコーン型試験針を用いた針貫入試験 Mk. II の実施状況を示す。固化改良土の q_u は直径 50mm、深さ 100mm の二つ割り成形モールド内でモデル化底泥土を針貫入用供試体と同一条件で固化させた供試体について実施した一軸圧縮試験により求めた。

図4と図5は強度レベルの異なる固化改良土について実施した $d=4\text{mm}$ の針貫入試験 Mk. I により得られた典型的な $P\sim\delta$ 関係をそれぞれ示す。同様に、図6と図7は比較のために実施した $d=2\text{mm}$ の針貫入試験 Mk. I の試験により得られた $P\sim\delta$ 関係をそれぞれ示す。これらの図から、 $P\sim\delta$ 関係は針寸法 d や固化処理土の強度レベルに関係なく傾向の異なる二つの部分、すなわちコーン部貫入中の P_c に対応する曲線的に増加する部分と、それ以降の一定径のロッド部貫入による直線的に増加する P_R に対応する部分から構成されることがわかる。直線的に増加するロッド部分の $P\sim\delta$ 直線の勾配は式(1)の N_P に相当している。一方、コーン部の $P\sim\delta$ 関係は式(2)に示したように表面積が δ の二次曲線的に増加するので、図中には $\delta \leq \delta_c$ の $P\sim\delta$ 関係を二次曲線 $P=P_c \cdot (\delta/\delta_c)^2$ により近似した曲線を示す。また、直線部分の近似直線は座標値 (δ_c, P_c) を通り、実験結果をうまく近似できるように引いたものである。図から、コーン部の $P\sim\delta$ 関係は二次曲線によりうまく近似でき、 P がコーン部貫入の表面積に比例した $c (=q_u/2)$ のみで構成されたとした針貫入試験の式(2)で表示された強度測定原理に合致していることがわかる。コーン部の $P_c\sim\delta_c$ 関係

図6 $d=2\text{mm}$ の針貫入試験 Mk.I による $P\sim\delta$ 関係 ($q_u=380\text{kN/m}^2$) 図7 $d=2\text{mm}$ の針貫入試験 Mk.I による $P\sim\delta$ 関係 ($q_u=944\text{kN/m}^2$)

は割線貫入勾配 $N_{Pc}=P_c/\delta_c$ を導入し、 $d=2 \cdot \delta_c \cdot \tan(\theta/2)$ を考慮すると、式(2)が

$$q_u = 4 \cdot N_{Pc} / (\pi \cdot d) \quad (4)$$

となり、 q_u と N_{Pc} の間に成り立つ比例関係から q_u を推定するのに利用できる。また、コーン部のみの貫入による P_c は貫入した針の表面積に比例するので、 $d=4\text{mm}$ 試験針による P_c は $d=2\text{mm}$ による値の4倍になるはずであり、図4と図6の比較 (40N に対して $15 \times 4 = 60\text{N}$)、あるいは図5と図7の比較 (140N に対して $31 \times 4 = 124\text{N}$) のように多少の差があるものの、それぞれの強度の相違や試験結果のバラツキを考慮するとほぼそのような大小関係になっている。

以上から、改良型針貫入試験 Mk. I はコーン部による P_c とロッド部による P_R のどちらも c による周面摩擦抵抗からなるとして扱うことができる。そこで、図8は $d=4\text{mm}$ 試験針を用いた以上のような試験を固化改良土の強度レベルを変えた供試体について実施して得られたコーン部の $P_c\sim\delta_c$ 関係による $q_u\sim N_{Pc}$ 関係、ロッド部の $P_R\sim(\delta-\delta_c)$ 関係による $q_u\sim N_P$ 関係のそれぞれを両対数図にプロットしたものである。図9は $d=2\text{mm}$ 試験針を用いた試験から得られた同様の関係である。 $q_u\sim N_{Pc}$ 関係と $q_u\sim N_P$ 関係のそれぞれは、 $q_u\sim N_P$ 関係にややバラツキが目立つが、通常型試験と同様に直線関係が成立つことがわかる。なお、 $q_u\sim N_{Pc}$ と $q_u\sim N_P$ 関係は、広範囲の強度レベルの試験データを表示できるように、以下では両対数プロットによる表示を採用する。また、試験針は d が小さい方が固化改良土

図 8 $d=4$ mm の針貫入試験 Mk.I による $\log_{10}q_u \sim \log_{10}N_p$ (N_{PC}) 関係 図 9 $d=2$ mm の針貫入試験 Mk.I による $\log_{10}q_u \sim \log_{10}N_p$ (N_{PC}) 関係 図 10 $d=4$ mm の針貫入試験 Mk.I による $q_u \sim N_p$ (N_{PC}) 関係

内にスムーズに貫入しやすいが、 $d=2$ mm では P が小さく強度推定の精度を確保しにくいので、以下の試験では $d=4$ mm の試験針を採用する。

図 11 改良型針貫入試験 Mk. II ($d=4$ mm) 写真 3 Mk. II 用のコーン型試験針 ($d=4$ mm, $\theta=30^\circ \cdot 15^\circ$)

5. 改良型針貫入試験 Mk. II の適用性

5.1 先端角 $\theta=30$ 度の針を用いた試験結果

コーン・ロッド型試験針を用いた Mk. I 試験は、現場で試験を実施することを想定すると、 $P \sim \delta$ 関係の第二段階のロッド部による N_p が δ_c 以降の P_R を読取る必要があるなど求めにくく、第一段階のコーン部による式(4)の N_{PC} だけを利用する方が便利である。そこで、ロッド部の周面摩擦が作用しないようにした図 11 に示すような $d=4$ mm, $\theta=30^\circ$ のコーン型針を採用した改良型針貫入試験 Mk. II を実施した。写真 3 は試験に使用した Mk. II 試験針の外観を示す(後述する $\theta=15^\circ$ の試験針も併せて示してある)。

図 12 と図 13 は強度レベルを変えた固化改良土供試体の針貫入試験 Mk. II から得られた $P \sim \delta$ 関係の典型例を示す。図中には $\delta \leq \delta_c$ の $P \sim \delta$ 関係を二次曲線 $P = P_c \cdot (\delta/\delta_c)^2$ により近似した曲線も示してある。図から、Mk. II 試験による P は、図 4～図 7 の場合と同様に、コーン部が貫入中 ($\delta < \delta_c$) には二次曲線的に増加しているが、完全に貫入後には表面積の増加がなくなるため一定値になることがわかる。ただし、 P は二次曲線域から一定荷重域への移行が理想的なものではなく、 $\delta = \delta_c$ で必ずしも一定値にならず、さらに貫入が進んだ $\delta = 10$ mm に至って一定値となっている。図 14 は強度レベルを種々変えた固化改良土の針貫入試験 Mk. II による $N_{PC}' = P_c'/\delta_c$ と q_u の関係を示す。 N_{PC}' は $\delta = \delta_c$ における P 値、すなわち図 15 に概念的に示すように P_c' ($< P_c$) を読み取り、 $N_{PC}' = P_c'/\delta_c$ から求めた貫入勾配である。図から、 $q_u \sim N_{PC}'$ 関係は Mk. I 試験による図 8 や図 9 に示したものと同様に直線関係が得られる。

コーン型針の Mk. II 試験を現場で実施することを想定すると、貫入勾配には現場で読取りやすい値の方が便利であるので、 P_c としては図 12 や図 13 に示したように P がほぼ一定値になる $\delta=10$ mm における値、すなわち図 15 に

図 12 針貫入試験 Mk. II による $P \sim \delta$ 関係 ($q_u=380\text{kN/m}^2$) 図 13 針貫入試験 Mk. II による $P \sim \delta$ 関係 ($q_u=944\text{kN/m}^2$) 図 14 針貫入試験 Mk. II による $q_u \sim N_{PC'}$ 関係

における P_{10} を採用するのが実用的と考えられる。そこで、図 16 には $P \sim \delta$ 関係から読み取った P_{10} から求めた $N_{PC}=P_{10}/\delta_C$ と q_u の関係を示す。図から、 $q_u \sim N_{PC}$ 関係は両対数グラフ上で直線

$$q_u = 39.1 \cdot N_{PC}^{1.165} \quad (5)$$

により近似できる。図中には図 14 に示した $q_u \sim N_{PC'}$ 関係も示すが、式(5)とほぼ平行となっており、 P_C 相当値をきちんと読み取ることができれば N_{PC} と $N_{PC'}$ のどちらでも強度推定が可能であるものの、現場での読み取りに個人差の少ない P_{10} を用いる N_{PC} が合理的といえよう。

図 15 改良型針貫入試験 Mk. II における N_{PC} 図 16 針貫入試験 Mk. II による $q_u \sim N_{PC} \sim N_{PC'}$ 関係

粘土地盤用のポータブルコーン貫入試験 (JGS 1431)⁸⁾ は $d=2.86\text{cm}$, $\theta=30^\circ$, $\delta_C=5.35\text{cm}$ (断面積 $A=6.54\text{cm}^2$) のコーンを地盤面に鉛直に一定速度 1cm/s で貫入させた時の抵抗力 P からその地盤の強度などを推定する試験であり、試験原理が Mk. II 試験に似ている。この試験は、コーン貫入中 $\delta (<\delta_C)$ における抵抗力 P_δ が地盤面でのコーン断面積 A_δ に比例することを利用して、コーンが完全に貫入した時の P を断面積 $A (= \pi \cdot d^2/4)$ で除したコーン貫入抵抗 $q_c = P/A$ から地盤の q_u などを推定するものである。コーン貫入中の P_δ は δ における貫入表面積 $A_{C\delta} (= \pi \cdot \tan(\theta/2) \cdot \delta^2 / \cos(\theta/2))$ に比例し二次曲線的に増加しているものの⁹⁾, A_δ と $A_{C\delta}$ の関係が $A_{C\delta} = A_\delta / \sin(\theta/2)$ のように比例関係があることから、ポータブルコーン貫入試験における $q_u \sim q_c$ 関係は Mk. II 試験における $q_u \sim N_{PC}$ 関係と同じ意味をもつ値といえよう。

5.2 先端角 $\theta=15$ 度の針を用いた試験結果

改良型針貫入試験 Mk. II では θ が小さい試験針ほど固化改良土中にスムーズに貫入し、通常型針貫入試験に近い条件になると考えられる。そこで、同一径 $d=4\text{mm}$ で $\theta=15^\circ$ とした、より尖ったコーン型試験針の改良型針貫入試験 Mk. II を固化改良土の強度レベルを変えて実施し、得られた $P \sim \delta$ 関係を図 17 と図 18 にそれぞれ示す。図中には比較のために、同一強度の固化改良土について実施した $\theta=30^\circ$ の試験針を用いた改良型針貫入試験 Mk. II による結

図 17 $\theta=15^\circ, 30^\circ$ の Mk. II 試験による $P \sim \delta$ 関係 ($q_u=483\text{kN/m}^2$) 図 18 $\theta=15^\circ, 30^\circ$ の Mk. II 試験による $P \sim \delta$ 関係 ($q_u=1148\text{kN/m}^2$)

果も示してある。 $\theta=15^\circ$ の試験針は、 $\theta=30^\circ$ のものに比較して表面積が2倍であるから P_c が2倍であり、かつ δ_c が2.04倍であるので、 N_{PC} がほぼ同じになるはずである。図から、実際にそのような関係になっていることがわかる。すなわち、 P は $\theta=15^\circ$ と $\theta=30^\circ$ のどちらでも、 $c (=q_u/2)$ が一定ならば、二次関数的に増加するコーン表面積だけで決まることがわかる。現場での試験に使用する試験針に $\theta=30^\circ$ と $\theta=15^\circ$ のどちらを選択するかの問題は、先端がより尖った $\theta=15^\circ$ の試験針の方が針貫入試験の強度推定原理により近い条件にあるが、 $\theta=30^\circ$ の試験針も同様の結果が得られるので、実際の試験でのコーン貫入を人力で行う場合には両者の差を無視できると考えられることから、ここではコーン貫入量が少なく、試験実施中に先端部を損傷しにくい角度の大きい $\theta=30^\circ$ 試験針の使用を推奨する。

5.3 改良型針貫入試験 Mk. II の実施上の留意点

コーン型試験針を用いる改良型針貫入試験 Mk. II の理想的な $P \sim \delta$ 関係はコーン部貫入中では二次曲線的に増加

し、 $\delta=\delta_c$ に達した以降に一定値 $P=P_c$ に移るが、実際にはそのようにならずにコーン部が完全に貫入した後のほぼ $\delta=10\text{mm}$ に達してから一定値になる。そこで、現場で実施する試験では、針径 $d=4\text{mm}$ を使用して、 N_{PC} として試験針が $\delta=\delta_c$ を超えて $\delta=10\text{mm}$ まで貫入したときの $P=P_{10}$ を読み取り、これを $\delta_c=7.46\text{mm}$ で除した値 $N_{PC}=P_{10}/\delta_c$ を求め、図 16 に示した $q_u \sim N_{PC}$ 関係を近似した式(5)に代入して q_u を推定することを提案したい。

6. あとがき

本稿は、針貫入試験を一般の地盤改良工法の固化改良土よりも低い砕・転圧盛土工法における強度管理に適用できるように、通常型針貫入試験で使用する直径が $d=0.84\text{mm}$ の2号木綿針より大きく $d=4\text{mm}$ 、先端の角度を $\theta=30^\circ$ としたコーン型試験針を採用した改良型試験針貫入試験の適用性を室内試験により調べ、以下の結論が得られた。

コーン型試験針の固化改良土への貫入抵抗力 P は、通常型針貫入試験の基本原則と同様に、コーンが δ だけ貫入した時の表面積に比例し、 δ の二次関数的に増加、完全に貫入後の $\delta=\delta_c$ で一定値 $P=P_c$ になる。一軸圧縮強さ q_u と $P \sim \delta$ 関係の割線貫入勾配 $N_{PC}=P_c/\delta_c$ の関係は両対数図上で直線式により近似でき、 q_u の推定に利用できる。ただし、現場試験での N_{PC} 値は $P \sim \delta$ 関係が必ずしも理想形にならないので、試験針が完全に貫入して δ_c を超えた $\delta=10\text{mm}$ での値 $P=P_{10}$ を読み取り、これを $\delta_c=7.46\text{mm}$ で除した $N_{PC}=P_{10}/\delta_c$ を採用することを提案した。

参 考 文 献

- 1) 農業農村整備情報総合センター編：ため池改修工事の効率化－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)，農業農村整備情報総合センター，2006。
- 2) 農業農村整備情報総合センター編：砕・転圧盛土工法によるフィリダム堤体改修－設計・施工・積算指針(案)，農業農村整備情報総合センター，2009。
- 3) 北島 明，福島伸二，谷 茂：固化改良土（砕・転圧盛土工法）の強度管理への針貫入試験の適用性，土木学会第68回年次学術講演会，Ⅲ-61，pp.121-122，2013。
- 4) 福島伸二：砕・転圧盛土工法における固化改良土の長期強度特性調査，水と土，第168号，pp.34-41，2013。
- 5) 岡田 滋，泉谷泰志，飯塚友之助，堀内澄夫：針貫入試験による軟弱な地山強度の推定，土と基礎，Vol.33，No.2，pp.35-38，1985。
- 6) 土木学会編：軟岩の調査・試験の指針(案)－1991年版－，土木学会，pp.56-60，1991。
- 7) 丸東製作所 HP：<http://www.maruto-group.co.jp/>，(2020/09/07 確認)
- 8) 地盤工学会編：地盤調査の方法と解説，第6編 サウディング，第5章 ポータブルコーン貫入試験，pp.337-344，2013。
- 9) 室町忠彦：粘性土におけるコーンの貫入抵抗と一軸圧縮強度との関係，土木学会誌，Vol.42，No.10，pp.7-12，1957。

(2017.5.22 受付)

Strength Evaluation of Cement-mixed Muddy Soil by New-type Needle Penetration Test

Shinji FUKUSHIMA¹, Akira KITAJIMA² and Takayoshi HORITA²

1 Department of Civil Engineering, Fujita Corporation

2 Technical Research Center, Fujita Corporation

Abstract

We have been developed the repairing method for the seismic reinforcement and the leakage control of a fill-type dam embankment using the cement-mixed muddy soil. The needle penetration test (NPT) attached with a sewing needle of 0.84mm in diameter as standard equipment was applied to evaluate the strength of the cement-mixed muddy soil. However, the accuracy to estimate the strength of the cement-mixed muddy soil in NPT is not satisfactory causing that the strength level in cement-mixed soil which become the purpose of in this study is lower than the strength levels of cement-mixed soil in the ordinary soil improvement method and soft rock. Therefore, we investigated the applicability of the new-type NPT that replaced the sewing needle with the cone-shaped needle increasing the diameter to estimate the strength of the cement-mixed soil by laboratory testing program. The test results show the followings.

The penetration resistance of a cement-mixed soil sample by the new-type NPT using the large-sized diameter needle is increasing in proportion to the side surface of needle into the sample in the second order curve. The unconfined compressive strength can be evaluated by the relationship between penetration resistance and the amount penetration by considering the needle penetration gradient.

Key words: needle penetration test, cement-mixed soil, unconfined compressive strength, strength control