

改良型針貫入試験の固化改良土（砕・転圧盛土工法）の強度管理への適用性

株式会社 フジタ 正会員 ○堀田崇由・福島伸二・北島 明

§ 1. まえがき

砕・転圧盛土工法¹⁾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）を池内に堆積した底泥土を所要の強度や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・転圧盛土工法において対象となる固化改良土の強度レベルが $q_u \leq 200 \sim 1000 \text{ kN/m}^2$ と一般の地盤改良工法に比較して低く、直径0.84mmの木綿針を用いる通常型針貫入試験では貫入抵抗が小さく強度推定における精度が問題であったので、径を大きくしたコーン・ロッド型針を採用した改良型針貫入試験 Mk. I の強度推定原理について調べてきた²⁾。本稿はこれに続くもので、改良型針貫入試験 Mk. I を現場で実施することを想定するとコーン・ロッド型針では特定の貫入変位での貫入抵抗を読み取りにくいので、ロッド部のないコーン型針の針貫入試験 Mk. II の適用性を室内試験により調べた結果を報告する。

§ 2. 改良型針貫入試験の Mk. I の問題点と Mk. II の試作

コーン・ロッド型針を用いる針貫入試験 Mk. I 試験による $P \sim \delta$ 関係はコーン部とロッド部の二つの部分から構成され、それらのおのおのにおいて得られる貫入勾配 $N_{PC} = P_C / \delta_C$ と $N_P = P_R / (\delta - \delta_C)$ のどちらも一軸圧縮強さ q_u との相関関係が得られる²⁾。しかしながら、改良型針貫入試験 Mk. I は現場での実施を想定すると、試験から得られる $P \sim \delta$ 関係はコーン部あるいはロッド部のどちらからも強度推定ができるものの、第二段階のロッド部の N_P では $\delta = \delta_C$ 以降の貫入抵抗 P_R を読み取ることが難しい問題がある。そこで、現場で実施する試験は貫入抵抗が読みやすく、貫入勾配も大きいコーン部のみを利用する方が便利なることから、ロッド部の周面摩擦が作用しないようにした図-1に示すような $d=4\text{mm}$, $\theta=30^\circ$ 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-1は Mk. II 針の外観を示す（後述する $\theta=15^\circ$ の針も併せて示す）。

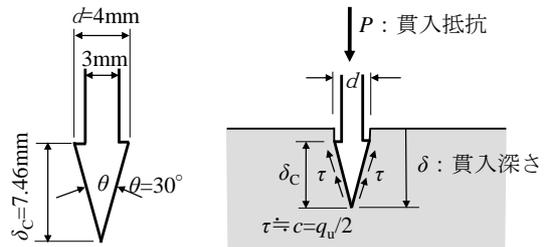


図-1 改良型針貫入試験 Mk. II ($d=4\text{mm}$)

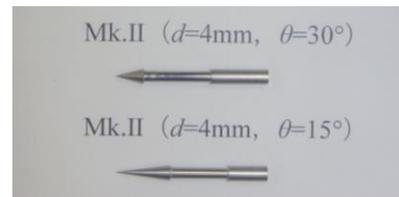


写真-1 改良型針貫入試験 Mk. II 用の試験針

§ 3. 改良型針貫入試験 Mk. II とその試験結果

図-2 と図-3 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 により得られた $P \sim \delta$ 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、コーン貫入部 ($\delta < \delta_C$) では参考文献2)で示したコーン・ロッド型針の場合と同様に二次関数的に増加しているが、それ以降では表面摩擦がないためほぼ一定値になることがわかる。ただし、二次曲線領域から一定荷重領域への移行は理想的なものではなく、 P が $\delta = \delta_C$ で一定値にならず、さらに変位の進んだ $\delta = 10\text{mm}$ になると一定値となっている。

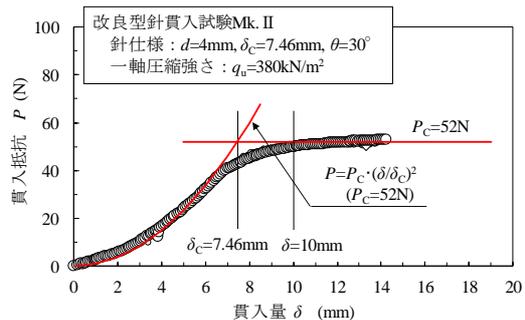


図-2 針貫入試験 Mk. II による $P \sim \delta$ 関係 ($q_u=380\text{kN/m}^2$)

図-4 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-5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。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み取りやすい P 値の方が便利であり、 P_C としては図-5に示したように P が一定値になる $\delta = 10\text{mm}$ での値 P_{10} を採用するのが実用的と考えられる。そこで、図-6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

対数グラフ上でほぼ直線になり

$$q_u = 39.1 \cdot N_{PC}^{1.165} \tag{1}$$

により近似できる。図中には図-4に示した $q_u \sim N_{PC}'$ 関係も示すが、上式とほぼ平行となっており、 P_C 相当値をきちんと読み取りできれば N_{PC} と N_{PC}' のどちらでも強度推定が可能であり、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。

改良型針貫入試験 Mk. II では θ が小さい針ほど固化改良土中に

キーワード：針貫入試験，固化改良土，一軸圧縮強さ

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 株式会社フジタ 技術センター 土木研究部 ☎ 046-250-7095

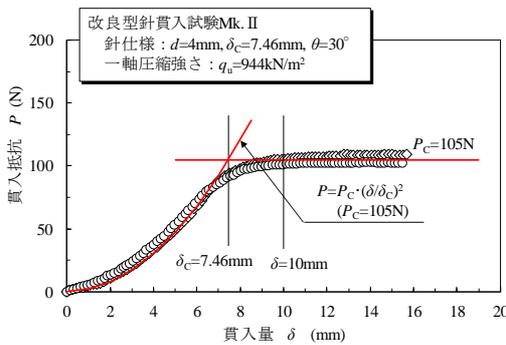


図-3 針貫入試験 Mk. II による $P \sim \delta$ 関係 ($q_u=944\text{kN/m}^2$)

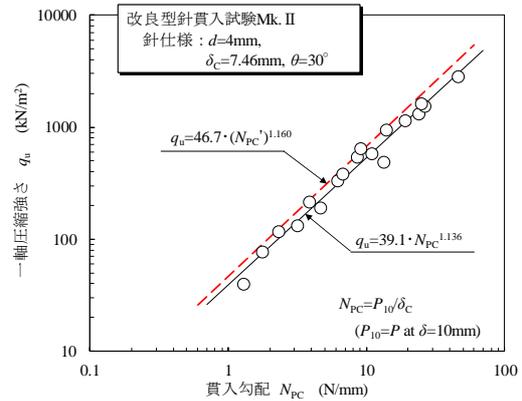


図-6 針貫入試験 Mk. II による $q_u \sim N_{PC} \cdot N_{PC}'$ 関係

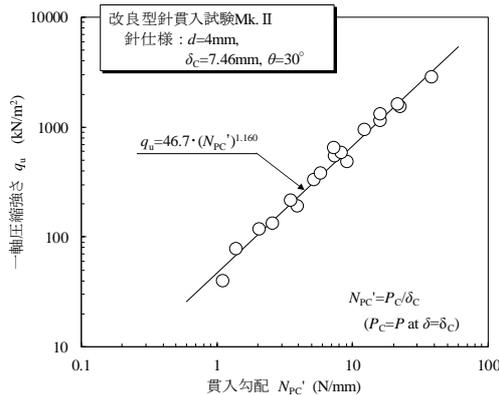


図-4 針貫入試験 Mk. II による $q_u \sim N_{PC}'$ 関係

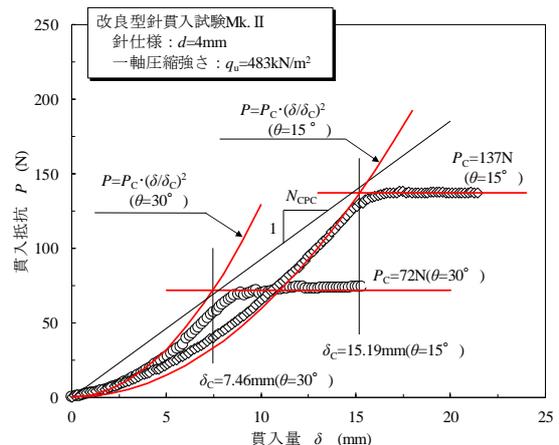


図-7 針貫入試験 Mk. II ($\theta=15^\circ \cdot 30^\circ$) による $P \sim \delta$ 関係の比較

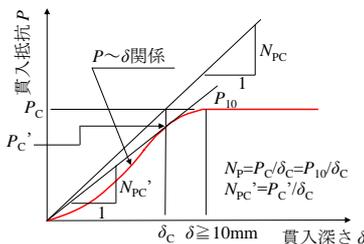


図-5 改良型針貫入試験 Mk. II における N_{PC}

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針の改良型針貫入試験 Mk. II を実施し、得られた $P \sim \delta$ 関係を図-7 に示す。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 $\theta=30^\circ$ の改良型針貫入試験 Mk. II による結果も示してある。 $\theta=15^\circ$ の針は、 $\theta=30^\circ$ の針に比較して表面積が 2 倍であるから P_c が 2 倍になり、かつ δ_c が 2.04 倍であるので、 N_{PC} がほぼ等しくなるはずである。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針に $\theta=30^\circ$ と $\theta=15^\circ$ のどちらを選択するかの問題は、針貫入試験の強度推定原理に近い先端のより尖った $\theta=15^\circ$ の針であるが、どちらも同様の結果が得られるので、ここでは θ が大きく試験実施中に損傷にくい $\theta=30^\circ$ の針を使用することにする。

§ 4. 改良型針貫入試験 Mk. II の実施上の留意点

コーン型針を用いる試験針の改良型針貫入試験 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 $\delta = 10\text{mm}$ に達すると一定値になる。そこで、現場で実施する試験では、 N_{PC} としてはコーン針が $\delta = \delta_c$ 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 $\delta_c = 7.46\text{mm}$ で除し値 $N_{PC} = P_{10} / \delta_c$ を求め、図-6 に示した $q_u \sim N_{PC}$ 関係を近似した式(1)から q_u を換算することを提案したい。

§ 5. あとがき

本稿は、砕・転圧盛土工法における固化改良土に適用できるように、木綿針より貫入抵抗が大きくなるように径 d を大きく、かつ先端を一定角度 θ で尖らせたコーン型針 ($d=4\text{mm} / \theta=30^\circ$) を採用した改良型針貫入試験 Mk. II の適用性を室内試験により調べた。コーン型針の貫入抵抗 P は針貫入試験の基本原理に合致してコーン貫入部の表面積に比例するが、 $P \sim \delta$ 関係が必ずしも理想形とならないので、試験針が δ_c を超えた $\delta = 10\text{mm}$ まで貫入したときの $P = P_{10}$ を読み取り、これを $\delta_c = 7.46\text{mm}$ で除して $N_{PC} = P_{10} / \delta_c$ を求めることを提案した。一軸圧縮強さ q_u と割線貫入勾配 $N_{PC} = P_c / \delta_c$ の関係が両対数図上で直線式(1)により近似できる。

【参考文献】 1) (社) 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), (社) 農業農村整備情報総合センター, 2006. 2) 北島 明, 福島伸二, 堀田崇由：改良型針貫入試験による固化改良土(砕・転圧盛土工法)の強度推定原理, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017. (投稿中)