

気泡混合軽量土の針貫入試験に関する研究

防災設計工学研究室 島裕一朗
指導教官 海野隆哉

1. はじめに

気泡混合軽量土は、骨材となる土に固化材と水を添加し、これに気泡を混合して作られるもので、配合を自由に設定でき、軽量で流動性に優れ、軽量盛土工法においてその施工実績が増えてきている。昨年度、新田らが行った研究において、軽量盛土体の一軸圧縮強さを簡便に推定できる針貫入試験を提案した。

昨年度行なわれた針貫入試験の概要を以下に示す。

- ① 軽量土供試体に針を貫入することで得られる貫入抵抗力と貫入量の関係図 (Fig. 1) より、第一直線と第二直線の交点を p [N]、第二直線部分の傾きを f [N/mm] として求める。

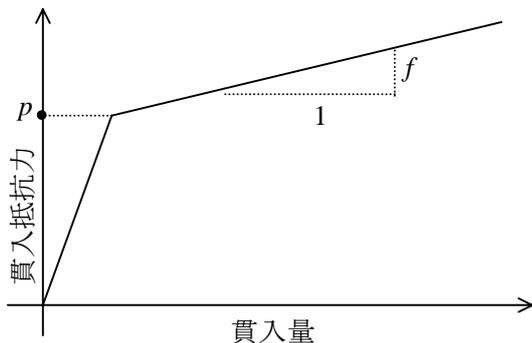


Fig. 1 貫入抵抗力-貫入量関係

- ② 求めた p と f を (1-1, 1-2) 式によって、単位面積あたりの力に換算し、先端抵抗の降伏値 P [kPa] (以後、先端抵抗 P と呼ぶ。) と周面摩擦抵抗 F [kPa] を求める。

$$P = p / \pi r^2 \quad \dots \dots \dots (1-1)$$

$$F = f / 2 \pi r \quad \dots \dots \dots (1-2)$$

ここに、 r : 貫入針半径 [mm]

- ③ 同一供試体より一軸圧縮試験を行い、一軸圧縮強さ q_u [kPa] を求める。

以上の手順を強度の異なる供試体に対して行い、 q_u と P 、 q_u と F の関係を求め、 P と F により一軸圧縮強さを推定しようとするものである。

昨年度行った針貫入試験では、針の太さ形状の

検討が不十分であり、供試体の配合パターンも少ないものであった。そこで、本研究では、針貫入試験の信頼性の向上と適用性を広げることを目的とし、針形状の検討、第二直線部分の検討、配合を変化させた場合と、骨材を変更した場合の適用性について検討を行った。

2. 使用材料

試験で用いた気泡混合軽量土は Table 2 に示す配合に基づいて作製した。骨材に粘土を使用し、粘土と固化材の質量比を 1:1 とした目標一軸圧縮強さが 1000kPa のものを基本配合とし、針形状の検討および第二直線部分の検討の試験に用いた。また、配合を変化させた場合の適用性の検討には、空気量、水セメント比を変化させた配合 1~4 を用いた。骨材を変更した場合の適用性の検討では、骨材に砂を用い、JH の暫定配合にしたがった配合 5 を用いた。貫入試験で用いた軽量土供試体は、 $\phi 50 \times 125$ の円柱型供試体とし、貫入試験後、供試体上部 2cm をストレートエッジで削り取った状態で一軸圧縮試験を行った。

Table 2 配合表

配合名	固化材 [kg/m ³]	骨材の種類	骨材 [kg/m ³]	混練水 [kg/m ³]	W/C [—]	気泡量 [L/m ³]
基本配合	210	粘土	210	329	1.57	523
配合 1	238	粘土	238	310	1.30	523
配合 2	176	粘土	176	353	2.00	523
配合 3	312	粘土	312	353	1.57	200
配合 4	132	粘土	132	553	1.57	700
配合 5	210	細砂	630	162	0.77	504

3. 針形状の検討

(1) 試験概要

針貫入試験において最適な針を選定するために、 $\phi 2$ mm から $\phi 12$ mm まで 2mm ピッチで計 6 種類の貫入針を用いて試験を行った。また、針の先端形

状を先端角 90° のコーン型にした場合についても同様に試験を行った。

(2) 試験装置

本研究で用いた試験装置は、一軸圧縮試験機の荷重機構を利用し、供試体に針を貫入させ、針に作用する抵抗力をロードセル、貫入量を変位計でそれぞれ静ひずみ測定にて1秒間隔で測定した。

(3) 試験結果

Fig. 2 に各径の貫入針を用いた試験結果の一例を示す。針の径が大きくなるにつれて貫入抵抗力は増加し、どの径の結果においても、貫入抵抗力と貫入量の関係は昨年度と同様に二直線で表されるバイリニア型となった。

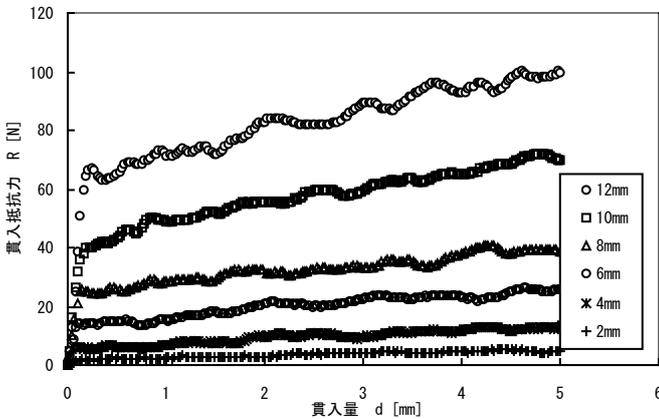


Fig. 2 各径の試験結果の一例

各針径に関する先端抵抗および周面摩擦抵抗のばらつきを比較するため、 P と F を q_u で除して正規化することとし、 P/q_u と F/q_u をそれぞれの貫入針の径別に示した (Fig. 3, Fig. 4). 図より、先端抵抗のばらつきは、径が大きくなるほど小さくなり、周面摩擦抵抗は、どの針の径を用いてもばらつきが収まる傾向は見られないことが分かった。したがって、本研究で行った範囲で最もばらつきの小さい $\phi 12\text{mm}$ の貫入針をこれ以降の検討に用いることとする。

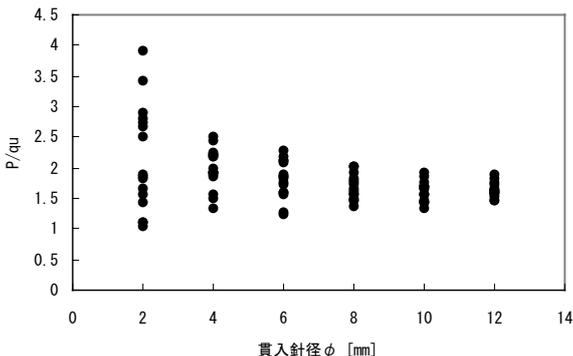


Fig. 3 貫入針径別の P/q_u のばらつき

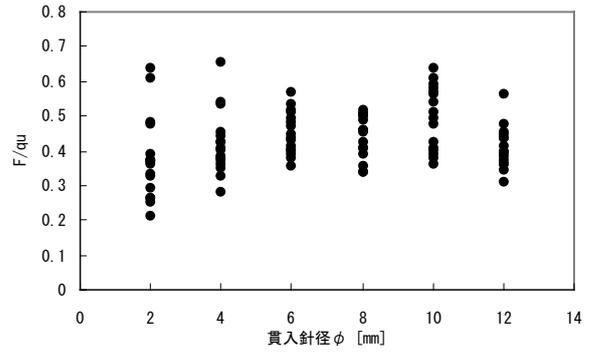


Fig. 4 貫入針径別の F/q_u のばらつき

コーン型針と $\phi 12\text{mm}$ の平面型針の試験結果を Fig. 5 に示す。図より、貫入したコーン型針底面の径が 12mm となる、貫入量 6mm のとき、先端抵抗力の値は、平面型針とほぼ等しいことが確認された。

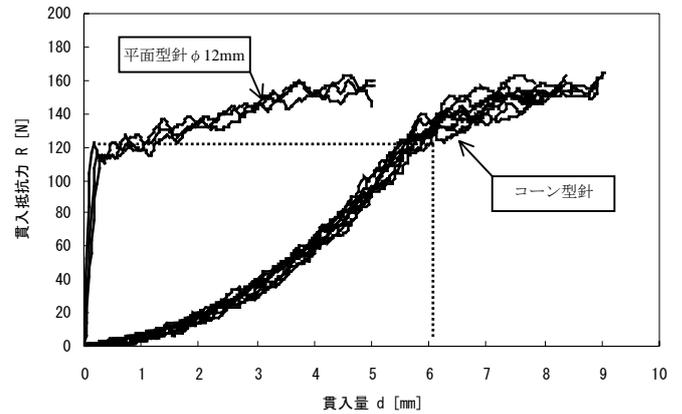


Fig. 5 コーン型針と平面型針の比較

4. 第二直線部分の検討

(1) 試験概要

昨年度の研究では、貫入抵抗力と貫入量の関係図の第二直線部分の傾きは周面摩擦抵抗の増加分と考えられていたが、針貫入試験後の供試体を貫入方向に沿って割ってみると、針直下の軽量土が球根状に圧縮されていることが分かった。これより、第二直線部分の増分は、球根が形成されることによる先端抵抗の増分であると考えられる。そこで、針の周面が軽量土と接しない形状の針を用いて針貫入試験を行い、周面のある試験データと比較することにより第二直線部の評価方法を考察するものとする。周面摩擦を発生させない形状の針として、 $\phi 10\text{mm}$ の釘の頭の部分を針の先端(釘

型針)として用いることとした。また、同時に比較用として周面が軽量土に接する形状のφ10mmの平面型針を用いて同様に試験を行い両者の比較を行った。なお、試験で用いた供試体は、Table2の基本配合で作製した。

(2) 試験結果

Fig. 6に釘型針を用いた試験結果を示す。図より、周面の接しない形状の針を用いても貫入抵抗力は増加する傾向にある。また、周面が軽量土に接する平面型針を用いた場合についても同様の傾向を示すことから、第二直線部分の貫入抵抗力の増加分は針に働く周面摩擦抵抗ではなく、針直下の軽量土が締め固められることによる先端抵抗の増分であると考えられる。そこで本研究では、一軸圧縮強さを推定する方法として先端抵抗との関係を用いることとする。

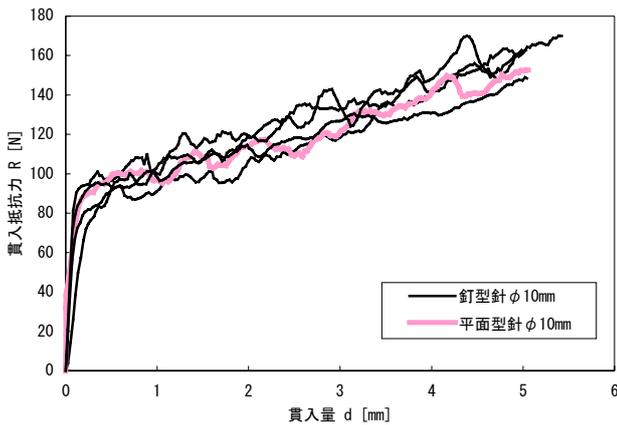


Fig. 6 釘型針を用いた場合の貫入抵抗力と貫入量の関係

5. 配合を変化させた場合の適用性の検討

(1) 試験概要

昨年度の研究では、配合のパターンが少なく、安定した軽量土が得られる配合についてのみ試験を行っている。そこで本研究では、空気量と水セメント比を変更した場合の針貫入試験の適用性について検討を行った。供試体の配合は、目標一軸圧縮強さが1000kPaの基本配合を基準として、一軸圧縮試験用供試体の作製可能な範囲の上限と下限で空気量、水セメント比を変化させ供試体を作製し針貫入試験を行った (Table2の配合1~4)。なお、貫入針はφ12mmの平面型のものを用いた。

(2) 試験結果

それぞれの配合の供試体について先端抵抗 P を求め、配合によって一軸圧縮強さ q_u が異なるため、 P/q_u の形で正規化し、同一の図上に示した (Fig. 7)。同様に水セメント比と P/q_u の関係を Fig. 8に示す。図より、空気量、水セメント比が異なる場合であっても、ばらつきはあるものの、概ね一軸圧縮強さと先端抵抗は一定の関係であると言える。

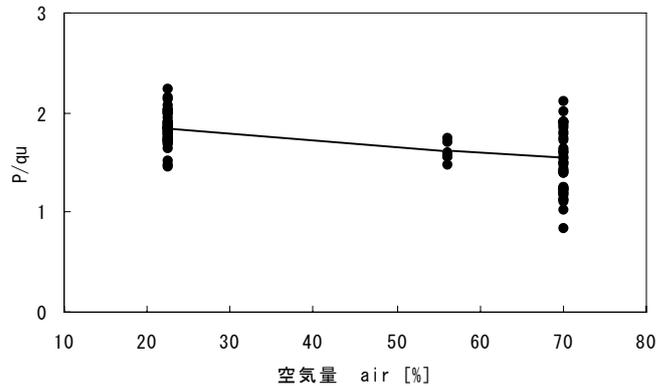


Fig. 7 空気量と P/qu の関係

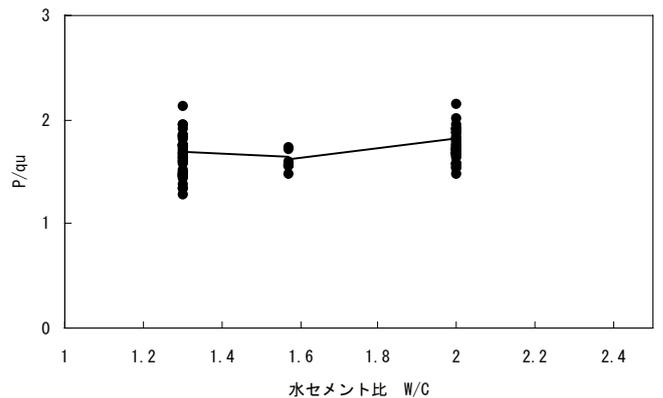


Fig. 8 水セメント比と P/qu の関係

すなわち、先端抵抗 P は一軸圧縮強さ q_u にのみ依存するものと推測される。そこで、空気量、水セメント比に関わらず一軸圧縮強さと先端抵抗の関係をまとめると (Fig. 9)、一軸圧縮強さ q_u と先端抵抗 P の関係は以下の近似式 (2-1) で表されることが分かった。また、その相関係数は $R^2=0.963$ となり、強い相関関係にあることが分かる。

$$q_u = 0.50P + 75.4 \dots \dots \dots (2-1)$$

また、参考値として昨年度の試験データを重ねても相関は損なわれないものとなった。

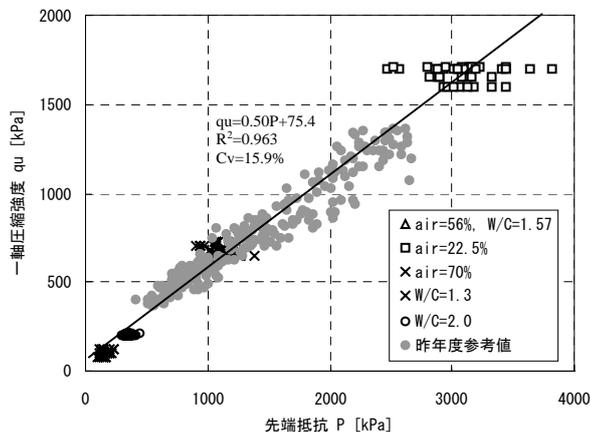


Fig. 9 一軸圧縮強さと先端抵抗の関係

6. 骨材に砂を用いた場合の検討

(1) 試験概要

昨年度の研究では、骨材に粘土を用いた場合のみ針貫入試験を行っている。針貫入試験の適用性を広げるべく、本研究では、骨材として砂を用い、針貫入試験を行った。供試体の配合は、配合5 (Table2) とし、貫入針は、φ8mmの平面型針と、φ12mmのコーン型針を用いてそれぞれ試験を行った。なお、平面型針については、φ12mmを用いて貫入試験を行った場合、軽量土供試体が割裂破壊してしまうためφ8mmのものを用いた。

(2) 試験結果

平面型針を用いて試験を行った試験結果と、コーン型針を用いて試験を行った試験結果をそれぞれ Fig. 10, Fig. 11 に示す。平面型針の場合、貫入抵抗力和貫入量の関係が大きく異なるため、骨材に粘土を用いたときのように、明確な先端抵抗の値を読み取ることはできないことが分かる。また、コーン型の針を用いた場合においても骨材が粘土の場合と比べ、ばらつきが大きいことが分かった。

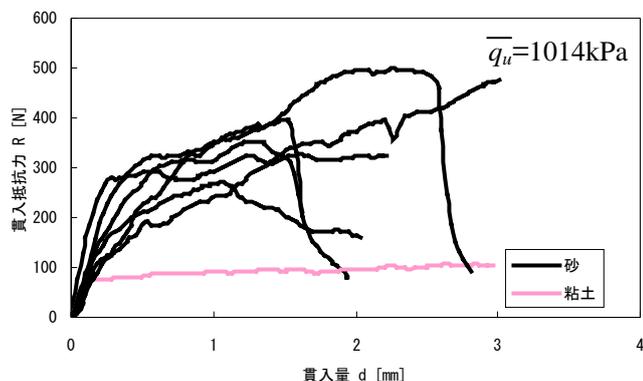


Fig. 10 骨材が砂の場合の貫入抵抗力和貫入量の関係 (平面型針)

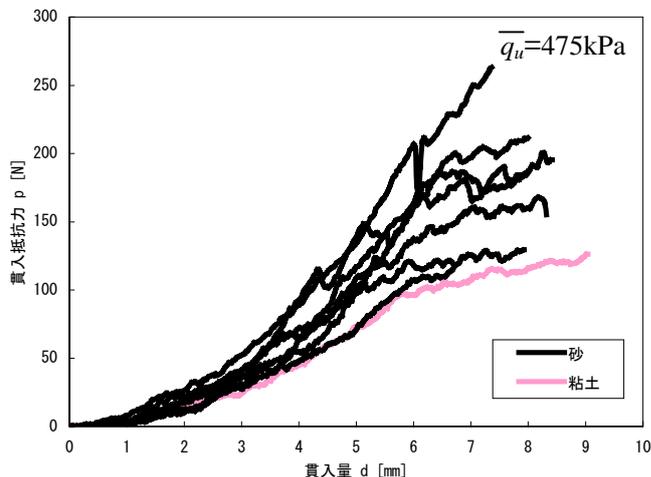


Fig. 11 骨材が砂の場合の貫入抵抗力和貫入量の関係 (コーン型針)

7. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ① 試験で使用した針の中で先端抵抗を求めるにあたり、安定した結果が得られる径はφ12.0mmである。
- ② 先端角90°のコーン型針を用いた場合にも平面型針で得られる先端抵抗と同程度の結果が得られた。
- ③ 周面摩擦抵抗と考えられてきた貫入抵抗力の増加は、針直下の試料の締め固めの効果によるものである。
- ④ 骨材に粘土を用いた場合においては、空気量、水セメント比の大小に関わらず、概ね一軸圧縮強さは先端抵抗の半分程度となる。
- ⑤ 骨材に砂を用いた場合、本試験で使用した形状の針では、先端抵抗の測定は困難である。

【参考文献】

新田昭彦, 気泡混合軽量土の斜め引張強さに関する研究, 長岡技術科学大学大学院 修士論文, 平成15年度

玉尾由享, 気泡混合軽量土の局所的物理特性に関する研究, 長岡技術科学大学大学院 修士論文, 平成15年度