

気泡混合軽量土の斜め引張り強さに関する研究

防災設計工学研究室 新田 昭彦
指導教官 海野 隆哉

1. はじめに

気泡混合軽量土(以下、軽量土)は、その軽量性と施工性の良さから軟弱地盤上や都市部などの狭隘な箇所において主に盛土材として使用されており、鉄道や道路などの社会交通基盤を支えている。そのため、軽量盛土が地震の影響により破壊され本来有すべき機能を失った場合、社会に与える被害は甚大なものとなることが予想され、その耐震性の評価が盛土を設計・施工する上で重要であると言える。本研究では、軽量土の耐震性の指標となる斜め引張り強さを明らかにすることを目的として、直方体供試体の平行する四辺にせん断応力を作用させ、さらに垂直応力を作用させることができる試験装置を作製し、純せん断試験を行った。また、軽量土の強度管理は一般的に一軸圧縮試験によって行われていることから、斜め引張り強さは一軸圧縮強さに関連づけられた値として用いられることが望ましいと考えられる。そこで、純せん断試験後の供試体の碎片からその一軸圧縮強さを推定する方法として、針貫入試験も併せて行った。

2. 針貫入試験

針貫入試験とは、 $\phi 6.0\text{mm}$ で先端は平面、側面は滑らかなステンレス丸鋼を軽量土に貫入する試験であり、貫入抵抗力 - 貫入量関係から得られ

る後述の値をもとに軽量土の一軸圧縮強さを推定するものである。本試験では、目標一軸圧縮強さ $q_{u28} = 500, 1000, 1500\text{kN/m}^2$ 配合(Table1)でプレフォーム方式により円柱供試体を作製し、所定の日数標準養生した。養生日数は 7, 14, 21, 28 日以上である。作製した供試体に対して針貫入試験を行い、試験後の供試体を一軸圧縮試験供試体に成形し一軸圧縮試験を行い、両者の関係を求めた。

Fig1 に示すように、針貫入試験結果はバイリニア型となった。ここで、第一直線部分を針の先端抵抗によるもの、第二直線部分の傾きを針の周面摩擦によるものと仮定する。そして、二直線の交点における貫入抵抗力を針の断面積で除した値を先端抵抗 P とし、第二直線部分の傾きを針の周長で除し単位周面積当りの値にしたものを周面摩擦力 F とすると、一軸圧縮強さと先端抵抗および周面摩擦力の関係は Fig2 のようになった。同図より、軽量土の一軸圧縮強さは針の先端抵抗および周面摩擦力によってそれぞれ次式により推定できることがわかる。

Table1 配合表

q_{u28} (kN/m^2)	目標密度 (g/cm^3)	固化材 (kg/m^3)	粘土 (kg/m^3)	混練水 (kg/m^3)	気泡量 (l/m^3)
500	0.680	180	180	297	578
1000	0.770	210	210	329	523
1500	0.845	240	240	345	487

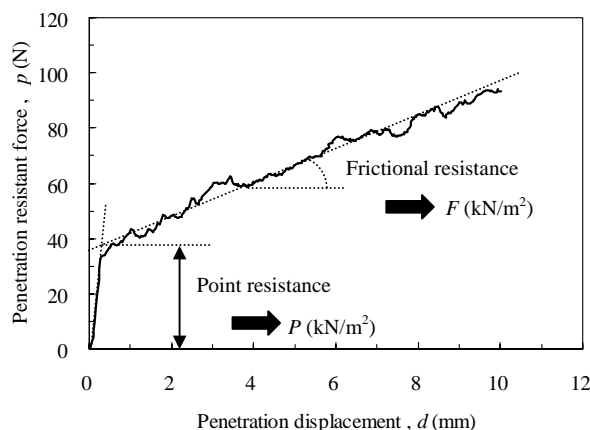


Fig1 針貫入試験結果

$$q_{uP} = 0.45P + 157 \quad (1)$$

$$q_{uF} = 2.45F + 151 \quad (2)$$

ここに、

q_{uP} : 針の先端抵抗をもとに推定した一軸
圧縮強さ(kN/m²)

P : 針の先端抵抗(kN/m²)

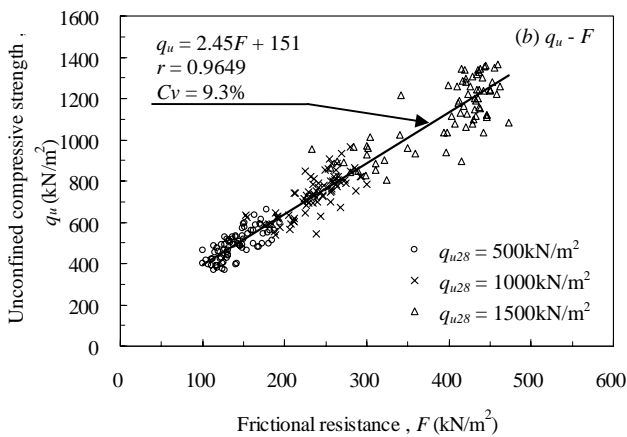
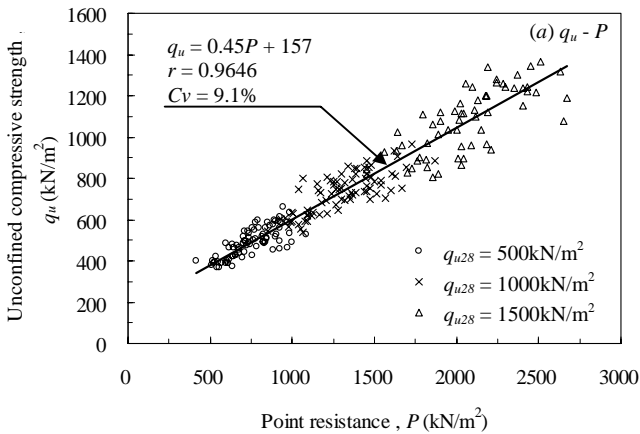


Fig2 q_u と P , F の関係

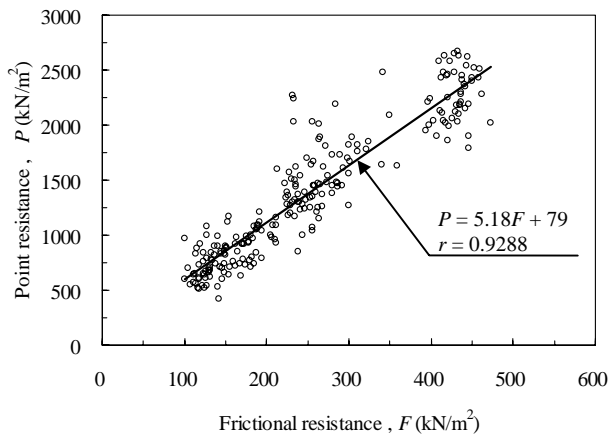


Fig3 先端抵抗と周面摩擦力の関係

q_{uF} : 針の周面摩擦力をもとに推定した一
軸圧縮強さ(kN/m²)

F : 針の周面摩擦力(kN/m²)

ここで、両者における相関係数はそれぞれ $r = 0.9646$ と $r = 0.9649$ であり、共に非常に強い正の相関性を示しほぼ同じであった。 q_{uP} 、 q_{uF} をそれぞれの真値として q_u の変動係数を求めると $Cv = 9.1\%$ と $Cv = 9.3\%$ であり、こちらも大きな差は見られなかった。また、 P と F の関係は Fig3 のようになり、その相関係数は $r = 0.9288$ と強い正の相関関係を示した。したがって、式(1)および式(2)により推定した一軸圧縮強さを平均した値を、純せん断試験供試体の一軸圧縮強さとして用いることとした。

3. 純せん断試験

純せん断試験とは、Fig4 に示すように、直方体供試体の平行する四辺にせん断応力を作用させることにより供試体内部に均一なせん断応力と斜め引張り応力を発生させ、斜め引張り破壊に至らしめるものである。本研究では、直方体供試体の平行する四辺にせん断応力を作用させ、さらに垂直応力を作用させることができる試験装置を設計し、作製した(Fig5)。本試験装置は一面せん断試験機の荷重載荷機構を利用したものであり、垂直応力は試験機上部に設置されたモーターにより作用させ、せん断応力は試験機右部に設置されたモーターにより作用させる。

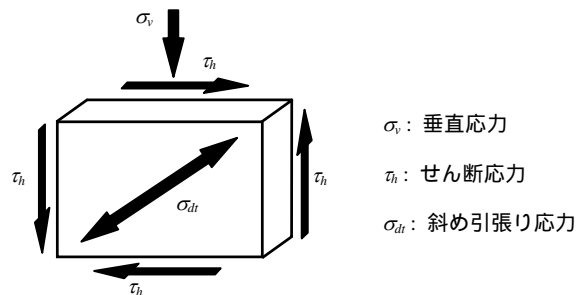


Fig4 作用応力概念図

σ_v : 垂直応力
 τ_h : せん断応力
 σ_{dt} : 斜め引張り応力

本試験では、鉄道盛土として一般的に使用されている $q_{u28} = 1500\text{kN/m}^2$ 配合(Table1)でプレフォーム方式により供試体を作製した。供試体は幅 $60\text{mm} \times$ 高さ $40\text{mm} \times$ 厚さ 13mm の直方体供試体である。試験は 28 日以上標準養生したものに対して、垂直応力 $\sigma_v = 8, 40, 70, 110, 155\text{kN/m}^2$ として行った。 $\sigma_v = 8\text{kN/m}^2$ とは試験可能最小垂直応力であり、 $\sigma_v = 155\text{kN/m}^2$ とは列車走行時に盛土に作用する最大垂直応力を考慮した値である。せん断変位速度は 0.02mm/min とし、静的にせん断応力を作用させた。

Fig6 に、せん断応力とせん断変位の関係を示す。すべての垂直応力においてせん断応力の経路はほぼ一致し、垂直応力の増加にともないせん断応力の最大値および供試体破壊時のせん断変位が大きくなる傾向を示した。また、すべての垂直応

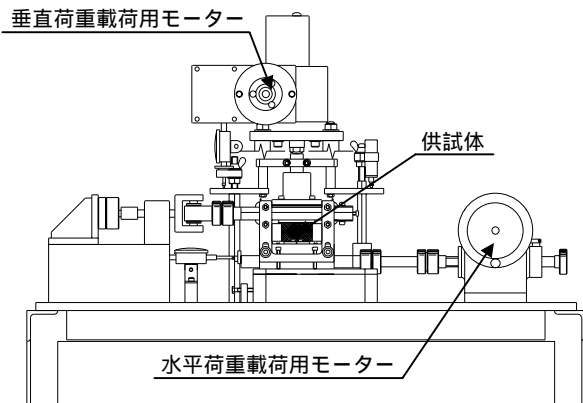


Fig5 純せん断試験装置

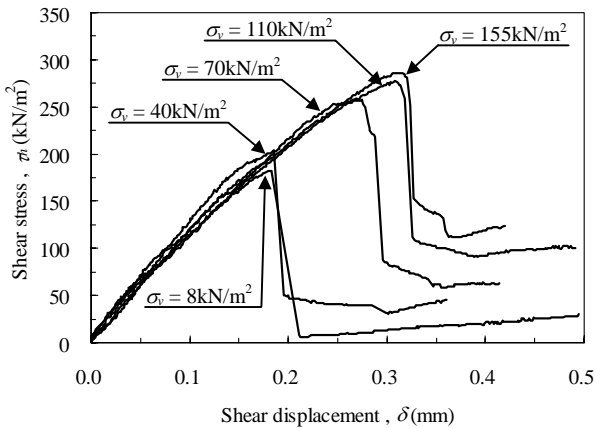


Fig6 せん断応力とせん断変位の関係

力において、供試体の破壊とともに急激にせん断耐力が低下した。

供試体はすべての垂直応力において斜め引張り破壊したことから(Fig7)、供試体破壊時の垂直応力とせん断応力から供試体の斜め引張り強さを算定した。斜め引張り強さを算定式は、Fig8 に示す力の釣り合いから求めた。以下に、斜め引張り強さを算定式を示す。

$$\sigma_{df} = \frac{\sqrt{\sigma_{vf}^2 + 4\tau_{hf}^2} - \sigma_{vf}}{2} \quad (3)$$

ここに、

σ_{df} : 斜め引張り強さ(kN/m²)

σ_{vf} : 供試体破壊時の垂直応力(kN/m²)

τ_{hf} : 供試体破壊時のせん断応力(kN/m²)

式(3)より算定した供試体の斜め引張り強さと垂直応力の関係を Fig9 に示す。同図より、垂直応



Fig7 供試体破壊状況

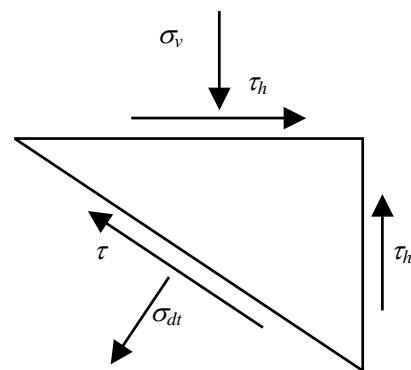


Fig8 供試体内に作用する応力

力の増加にともない斜め引張り強さは若干の増加傾向を示した。しかし、その増加量はごくわずかであり、すべての垂直応力において斜め引張り強さはほぼ等しい結果となり、その平均値は $\sigma_{df}=203\text{kN/m}^2$ となった。

本研究では、純せん断試験後の供試体の碎片に対して上述の針貫入試験を行い、その一軸圧縮強さの推定を行った。Fig10 は、斜め引張り強さと一軸圧縮強さの関係である。同図より、斜め引張り強さと一軸圧縮強さの関係は次式により表わされることがわかる。

$$\sigma_{df} = 0.16q_u \quad (4)$$

ここに、

σ_{df} : 斜め引張り強さ(kN/m^2)

q_u : 一軸圧縮強さ(kN/m^2)

小林¹⁾は、本研究で用いた供試体と同配合設計の供試体に対して異なる養生日数において純引張り試験を行い、引張り強さと一軸圧縮強さの関係を示した。それによると、引張り強さと一軸圧縮強さの関係は次式により表わされる。

$$\sigma_f = 0.15q_u \quad (5)$$

ここに、

σ_f : 引張り強さ(kN/m^2)

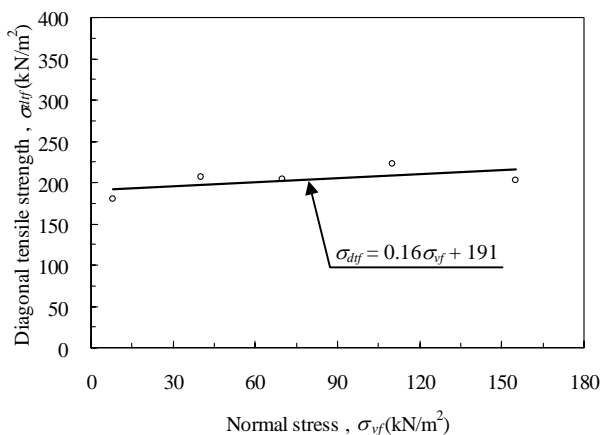


Fig9 斜め引張り強さと垂直応力の関係

式(4)と式(5)を比較すると、ほぼ一致していることがわかる。供試体の引張り強さは、純引張り強さであろうと斜め引張り強さであろうと等しいはずである。したがって、両試験において求めた引張り強さと一軸圧縮強さの関係がほぼ等しくなったことから、本試験において求めた斜め引張り強さは妥当であったと考えられる。また、すべての供試体において斜め引張り強さと一軸圧縮強さの関係を求めると、斜め引張り強さは一軸圧縮強さの1/5~1/7程度であった。

4.まとめ

本研究で得られた主な知見は以下のとおりである。

軽量土の一軸圧縮強さは、針の先端抵抗および周面摩擦力によって式(1)および式(2)によって推定できる。

鉄道盛土として一般的に使用されている目標一軸圧縮強さ $q_{u28} = 1500\text{kN/m}^2$ 配合軽量土の斜め引張り強さは、一軸圧縮強さの1/5~1/7程度である。

【参考文献】

- 1) 小林秀幸, 気泡混合軽量土の曲げ強度に関する研究, 長岡技術科学大学大学院, 2003

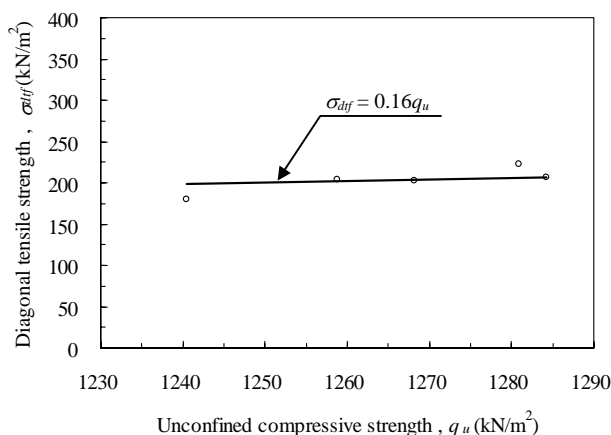


Fig10 斜め引張り強さと一軸圧縮強さの関係