直接せん断試験による種々のクリンカアッシュとストリップ間の摩擦特性

山口大学大学院　学生会員　○草野祐樹
山口大学大学院　正会員　鈴木素之
山口大学大学院　学生会員　山口恭平
復建調査設計　正会員　福村拓人
中国電力　正会員　中下明文
中国電力　正会員　中村芳弘
復建調査設計　正会員　若槻好孝
山口大学大学院　正会員　兵動正幸

１．はじめに

帯鋼補強土壁工法では鋼材と盛土材の間の摩擦抵抗が期待できる細粒分含有率の低い砂質土が盛土材として用いられる[1]．しかし，最近では良質な砂質土の入手が困難になっている．そこで，筆者らは砂質土に替わる盛土材として単位体積重量が小さく，かつ，高いせん断強さを発揮するクリンカアッシュの適用性を検討している．これまでに帯鋼補強材と盛土材の間の摩擦特性は主に土中引抜き試験により検討されている[2]．しかし，①盛土中の補強材全体にわたって一様な引抜き抵抗が発生しているか，また，②引抜き中の補強材と土の接触面の応力状態はどのようになっているかが不明であった．さらに，③土中引抜き試験機では120kPaの上載圧下での引抜きが試験機の限界であった[2]．本研究では，上記の点をふまえて，最大200kPaまでの垂直応力の範囲において補強材とクリンカアッシュの間の摩擦特性について，せん断箱を改良した一面せん断試験装置を用いて検討した．

２．土と補強材の境界面における一面せん断試験

2.1 クリンカアッシュの物理特性　表-1に6種類のクリンカアッシュと2種類の砂質土試料の種類と物理特性を示す．細粒分含有率 F_C は，C.Tの1試料を除いて，補強土壁工法の適用基準となる25%以下であった[1]．また，土粒子の密度も一般的な盛土材と比較して小さい．

2.2 試験装置　一面せん断試験装置は供試体（直径6cm，高さ1cm）を納める上箱，補強材を取り付けた下箱，垂直力を載荷するベロフラムシリンダー，せん断面に所定のせん断力を加えるせん断力載荷装置，垂直変位とせん断変位を測定する変位計から構成される．せん断面は補強材と土の境界面となる．補強材は平滑補強材とリブ付補強材（**写真-1**）を使用した．

2.3 試験手順　試料は最大粒径2mmになるようにふるい

表-1 試料土の種類と物理特性

試料土	土粒子の密度 (g/cm³)	最適含水比 (%)	細粒分 (%)	砂分 (%)	礫分 (%)
C.O	2.160	29.60	14.2	61.6	24.2
C.MI	2.104	37.71	14.1	60.1	25.8
C.MA	2.185	34.74	7.5	62.9	29.6
C.D	2.222	40.22	22.9	54.1	23.0
C.H	2.224	34.09	5.5	62.9	31.6
C.T	2.126	38.46	26.8	53.5	19.7
千葉山砂	2.719	17.60	14.8	83.8	1.4
宇部まさ土	2.620	11.30	13.1	50.4	36.5

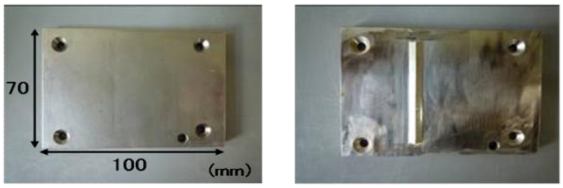

写真-1 平滑(左)およびリブ付補強材(右)

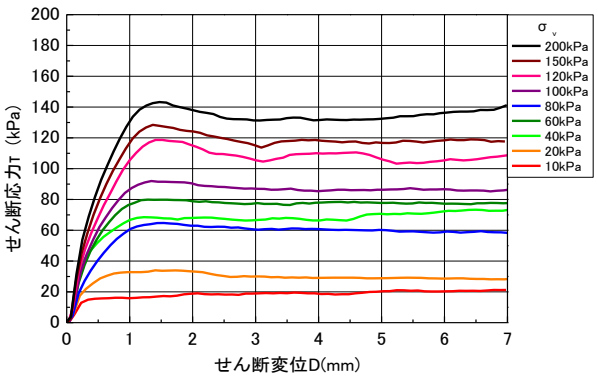

図-1 垂直応力が異なるケースのせん断挙動の関係（C.D）（平滑補強材）

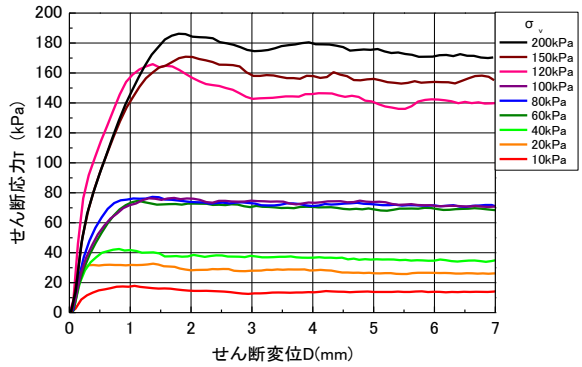

図-2 垂直応力が異なるケースの
せん断挙動の関係（C.MA）（平滑補強材）

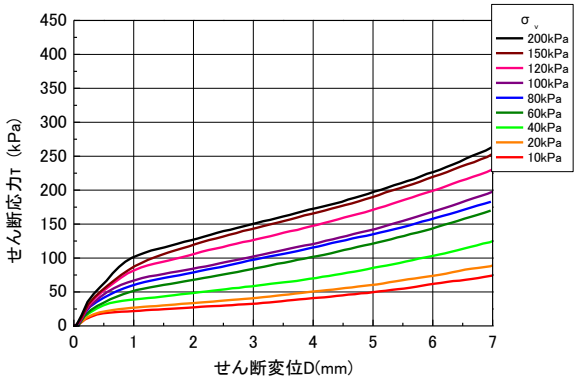

図-3 垂直応力が異なる各ケースの
せん断挙動の関係（C.D）（リブ付補強材）

にかけたものを用いた．試料を上箱に投入した後，試料の上面を平滑にした．ノギスで試料上面の高さを 4 か所測定し，高さの差が 1mm 以内になっていることを確認した．その後，試料上面にろ紙，ポーラスストーンを順に載せ，所定の垂直応力 σ を載荷して，供試体を圧密した．圧密終了後，直ちにせん断を開始した．せん断速度は 0.2mm/min とし，せん断変位 D が 7mm に達するまで排水せん断した．

３．実験結果

図-1 および**図-2** にそれぞれ試料 C.D および C.MA の平滑補強材におけるせん断応力 τ とせん断変位 D の関係を示す．Fc の多いものが C.D，細粒分含有率の少ないものが C.MA である．いずれの試料においても，τ はせん断の進行に伴ってピークを示した後，若干低下し最終的に定常状態に落ち着いていることがわかる．

図-3 および**図-4** にそれぞれ試料 C.D および C.MA のリブ付補強材における τ と D の関係を示す．こちらは，平滑補強材とは異なり，せん断中，常に τ は上昇していることがわかる．また，平滑補強材と同様に細

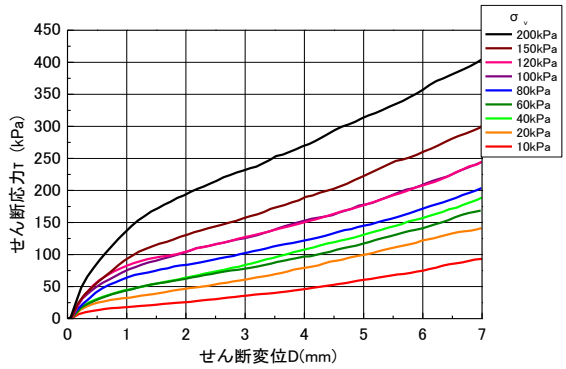

図-4 垂直応力が異なる各ケースの
せん断挙動の関係（C.MA）（リブ付補強材）

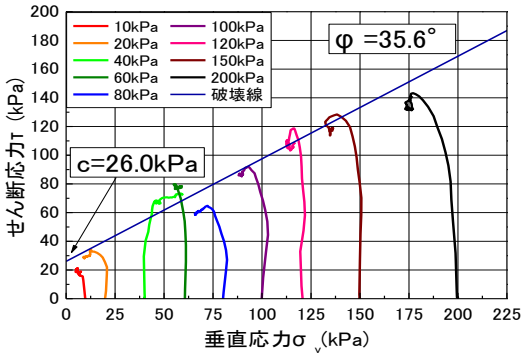

図-5 応力経路と破壊線（C.D）（平滑補強材）

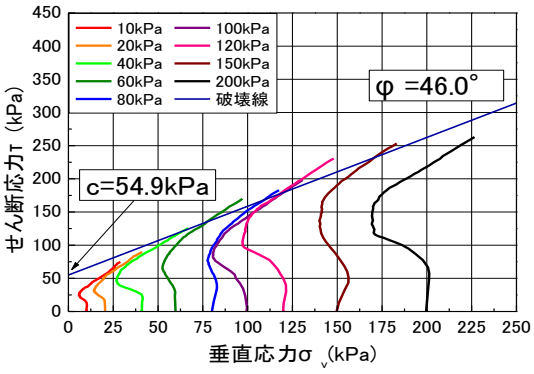

図-6 応力経路と破壊線（C.D）（リブ付補強材）

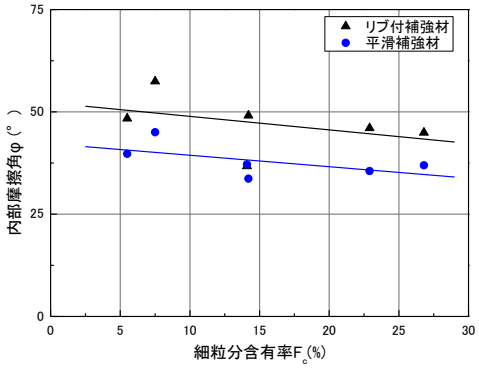

図-7 細粒分含有率と内部摩擦角の関係

粒分の少ない C.MA の方が高いせん断応力を発揮していることがわかる．次に，**図-5** および**図-6** にそれぞれ試料 C.D の場合の平滑補強材とリブ付補強材におけるせん断面上の応力経路と破壊線を示す．平滑およびリブ付補強材の強度定数はそれぞれ ϕ=35.6°，46.0°，見掛けの粘着力は c=26.0kPa，54.9kPa となった．また，**図-7**，**図-8**，**図-9** には補強材別に全試料の ϕ と細粒分含有率 F_c，砂分含有率 S_c，礫分含有率 G_c の関係をそれぞれ示す．Fc が高いものほど ϕ は大きくなり，S_c および G_c が高いものほど，ϕ は大きくなる傾向がみられる．

最後に，**図-10** に一面せん断試験から得られた摩擦係数（最大せん断応力を垂直応力で除したもの）と土被り厚の関係を示している．いずれの試料においても設計基準線[1)]より高い摩擦特性を示していることがみてとれる．また，リブ付補強材の値は平滑補強材と比べて高くなっていることがわかる．**図-11** には別途明らかにした土中引抜き試験の結果[2)]を示す．土中引抜き試験の結果と比較して，一面せん断試験から得られた摩擦係数は多少低いものの，摩擦特性は概ね一致している．今回明らかになった点としては土被り厚が 10m 以上においてもクリンカアッシュの摩擦係数は設計基準線[1)]より高いことである．これより，上載圧の比較的高い条件においてもリブ付補強材の摩擦係数はリブの効果により土中引抜き試験の結果と同等あるいはそれ以上の値を発揮する．

4．まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる．

(1) 国内の火力発電所で採取された物理特性の異なる 6 種類のクリンカアッシュにおいて，上載圧が 200kPa 程度の範囲で，細粒分含有率等によって差はあるものの，設計基準線より高い摩擦特性を有することが確認された．

(2) 細粒分含有率の少ない試料ほど，せん断強さが高くなる傾向があることがわかった．また，この傾向は上載圧が高い条件で顕著であった．

(3) 平滑補強材よりもリブ付補強材の方がより高いせん断強さを発揮することが分かった．

［参考文献］ 1）補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル第 3 回改訂版，2003． 2）鈴木素之他：帯鋼補強土壁に用いるクリンカアッシュに対する補強材の引抜き抵抗特性，土木学会第 67 回年次学術講演会，2012．
3）橋本良昭：補強土壁に用いるリブ付きストリップの摩擦特性について，土と基礎，Vol.31，No.9，pp.41-46，1983．

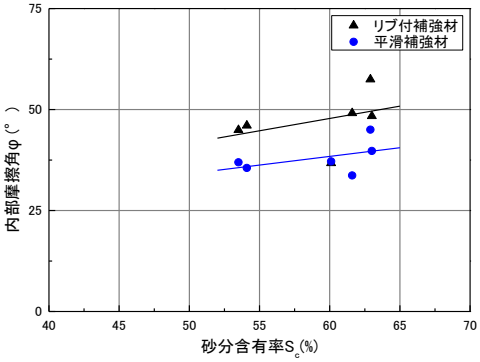

図-8 砂分含有率と内部摩擦角の関係

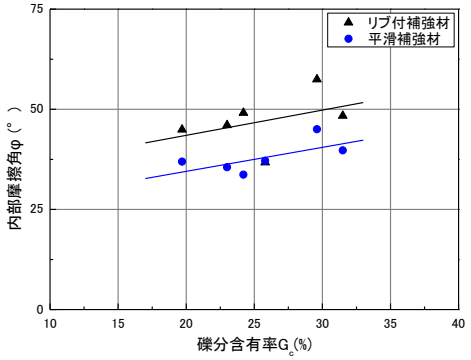

図-9 礫分含有率と内部摩擦角の関係

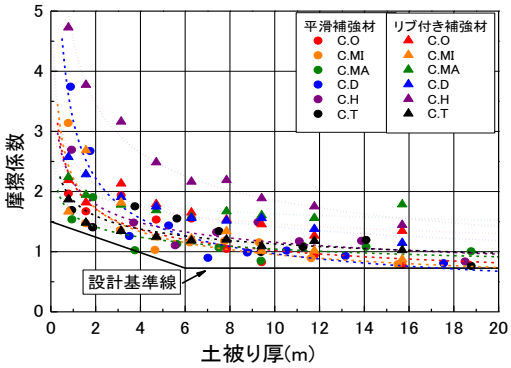

図-10 摩擦係数と土被り厚の関係
（一面せん断試験）

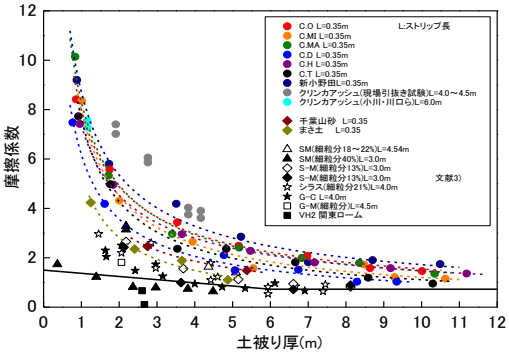

図-11 摩擦係数と土被り厚の関係
（土中引抜き試験[2)]）