

補強材端部を引張制御した大型直接せん断試験による補強土のせん断特性

粒子径の違いが及ぼす強度発現の影響

農村工学研究所 正会員 ○松島健一 国際会員 毛利栄征
 東京理科大学 国際会員 龍岡文夫
 東京大学大学院 田中忠治
 農村工学研究所 堀俊和, 有吉充

1. はじめに 供試体内に引張り補強材を鉛直に配置した直接せん断試験（一面せん断試験）では、せん断箱が薄すぎて補強材の敷設長（～供試体の高さの 1/2）が不十分になるため、補強材の上下端が自由な場合は補強材が供試体中央高さのせん断領域に向かって引き込まれて十分な引張力が補強材に動員されない可能性がある。原位置での敷設長は直接せん断試験よりも遙かに長いので、直接せん断試験によって補強効果を検討する場合は、供試体内の補強材の敷設長と補強材上下端での拘束条件が補強効果に及ぼす影響を検討しておく必要がある。本研究では、大型直接せん断試験を実施して上記の点について検討をした。同時に、中詰め材の粒子径の違いが補強効果に及ぼす影響について検討を行った。

2. 大型直接せん断試験機（図-1）を用いた実験 せん断箱は高さ 60 cm, 長さ 80 cm, 奥行き 50 cm であり、せん断上箱の上蓋と側壁が一体化している。せん断上下箱の隙間には粒子のこぼれだしを防ぐためにスポンジを貼り付けた。隙間の初期間隔は 1.0 cm である。引張強度 80 kN/m のジオグリッド補強材（図-2）を、せん断方向に直交する鉛直面に 1 層（高さ 60 cm×奥行き 50 cm）を中央に設置した。試料として、粒子平均径が最大約 22 倍異なる豊浦砂、千葉細礫、千葉中礫（図-3）を用いた。供試体は多重ふるい法（豊浦砂）とハンドバイブレーターによる締固め（礫材）によって作成した。次の 2 通りの方法で補強材の上下端部での拘束条件を制御した。

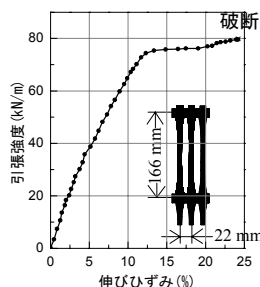


図-2 補強材の引張特性

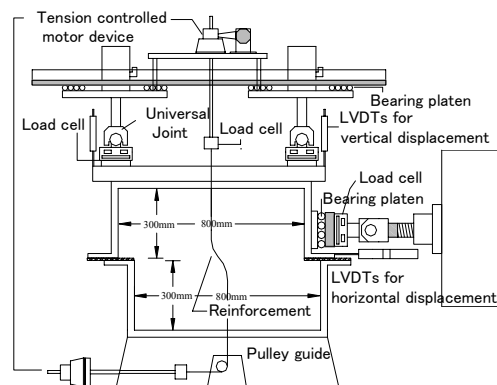


図-1 大型直接せん断試験機

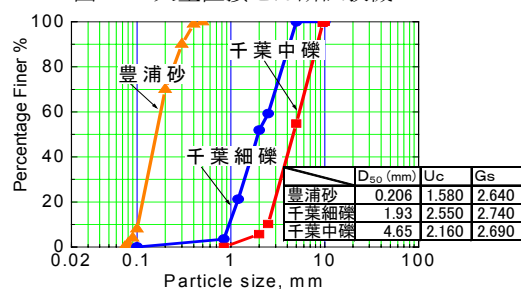


図-3 粒径加積曲線

CL (constant load 引張力一定条件): 供試体作成前からせん断終了まで一定の引張力 4 kN/m を継続して負荷した。

FD (fixed displacement 変位固定条件 (図-4)): 供試体作成前からせん断開始直前まで一定の引張力を負荷し、せん断開始後は補強材端部の鉛直移動を絶対基準に対して固定した。

せん断中に補強材上下端部で発生する引張力増分は中詰め材に反力として作用させるため、それと等価な拘束圧を載荷板に自動制御で加えた。図-5 に以下の試験手順を示す。①初期引張力を補強材に負荷させ、その状態で地盤を作成。②上蓋を側壁に結合し、補強材上端に所定の引張応力を負荷させた後に、補強材の固定治具を取り

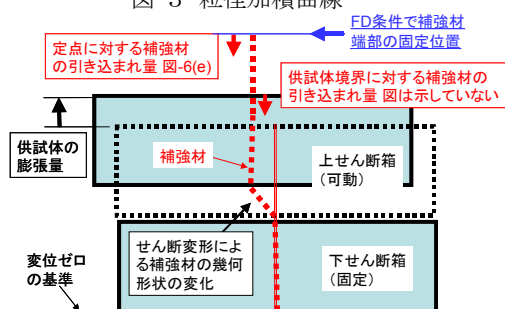


図-4 補強材端部の境界条件

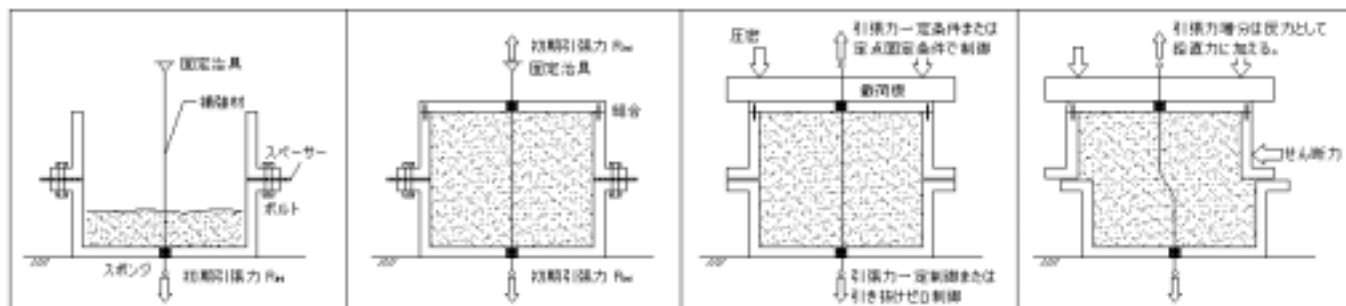


図-5 引張力を負荷した状態で作成した補強土供試体の直接せん断試験の手順

キーワード 直接せん断試験, 補強土, 引抜け

連絡先 〒160-0004 茨城県つくば市観音台 2-1-6 独立行政法人農村工学研究所 TEL 029-838-7575

外す。③上下せん断箱間の隙間プレートを取り外し、上載圧を増加して圧密。④CL もしくは FD の補強材端部条件で、せん断上下箱を常に平行に保つように制御して定拘束圧 (50kPa, 147kPa)、せん断変位速度 0.23mm/min でせん断を行った。

3. 実験結果

a. せん断変位量が小さい段階 (0 ~ 20 mm) :

図-6 に、豊浦砂・細礫・中礫の無補強及び補強供試体の試験結果を示す。CL, FD 条件で共通して、小粒径の豊浦砂では補強によるピーク強度の増加は小さいが、粒径が大きいほど早期でのピーク強度がより顕著に増加した(同図 a, b)。また、補強・無補強供試体とも供試体の膨張量は粒径が大きいほど増大した(同図 d, e)。礫材では補強により供試体膨張量が増加したが、豊浦砂では増加がほとんどない。CL 条件では供試体膨張に伴って補強材は上方向に引き延ばされ供試体境界に対して引き込まれない。そのため、補強材の端部の「固定点に対する引き込まれ量」が負になる(即ち固定点に対して補強材端部が押し出される)。この押し出され量は粒径が大きいほど大きい。このため FD 条件では、図-4 に示すように補強材の端部は供試体の膨張によって引張力が解放され、その程度は粒径が大きいほど大きい(同図 f)。このように CL と FD 条件では補強材端部での変位・荷重状態が大きく異なるにもかかわらず、ピーク強度と供試体全体のダイレイタンスの傾向にはほとんど差がない。このことから、供試体中央部での補強材の引張り応力状態は補強材端部の拘束条件の違いの影響を殆ど受けていないと言える。

b. せん断変位 20 mm ~ 最終せん断変位量) : せん断変位が大きくなっても、粒径が大きい中礫では補強材端部の拘束条件に関係なく、一定の高いせん断強度が維持されている。一方、粒径が小さい豊浦砂や細礫で FD 条件の方で明らかな強度増加が生じた。これは、粒径が小さいほど CL 条件では供試体の膨張量よりも補強材端部の定点对する引き込み量が大きくなる(同図 c, e)、つまり、FD 条件では引き込まれやすい材料ほど、すなわち、粒径が小さいほど補強材端部での引き込まれを抑制するため引張り荷重が増加する(同図 f)。

4. 考察 直接せん断試験では、補強材の引張りひずみはせん断面と補強材が交差する部分での①せん断変位量が小さい段階での中詰め砂礫のダイレイタンスと②せん断変位量が大きい段階での中詰め砂礫のせん断変位に伴う補強材の幾何学的変形(図-4)によって発生する。①の要因によるせん断面付近での補強材引張り力の増加は、大粒径ほど大きくなる。さらに、大粒径材ほどせん断面付近の補強材の引張力は引抜けにくいので補強材端部へ伝達されにくくなりより効率的に維持される。この二つの理由で、粒径が大きいほど補強効果が高くなる。また、せん断変位が大きくなると①の要因は減少してゆくが②の要因が大きくなる。従って CL 条件では、粒径が大きいほどせん断変形に関わらず一貫して補強効果が高くなる(図-6g)。一方、FD 条件では粒径の相違による引き抜けやすさの差が人工的に打ち消されているため、粒径の差による補強効果の差は小さい(同図 h)。

5. まとめ

1. 補強土の直接せん断試験において、無補強の場合のピーク強度が発揮されるせん断変位程度までは補強材端部の拘束条件が補強効果に与える影響は殆どない。従って、今回の敷設長が片側で 30 cm である大型直接せん断試験は、今回使用した補強材に対して中詰め材の粒径に関わらず十分であると判断できる。
2. 粒径が大きくて補強材が引き抜けにくいほど、①せん断早期ではダイレイタンス量が大きくなり、②せん断変位が大きくなるとせん断面付近での補強材の幾何学的変形による補強材引張り力がより効率的に維持されるため、せん断変位にかかわらず補強効果が大きくなる。小粒径でダイレイタンス量が小さく補強材が引き抜けやすいほど、この二種の補強効果は弱くなる。その場合での②の要因を評価するには、補強材端部の影響を考慮する必要がある。

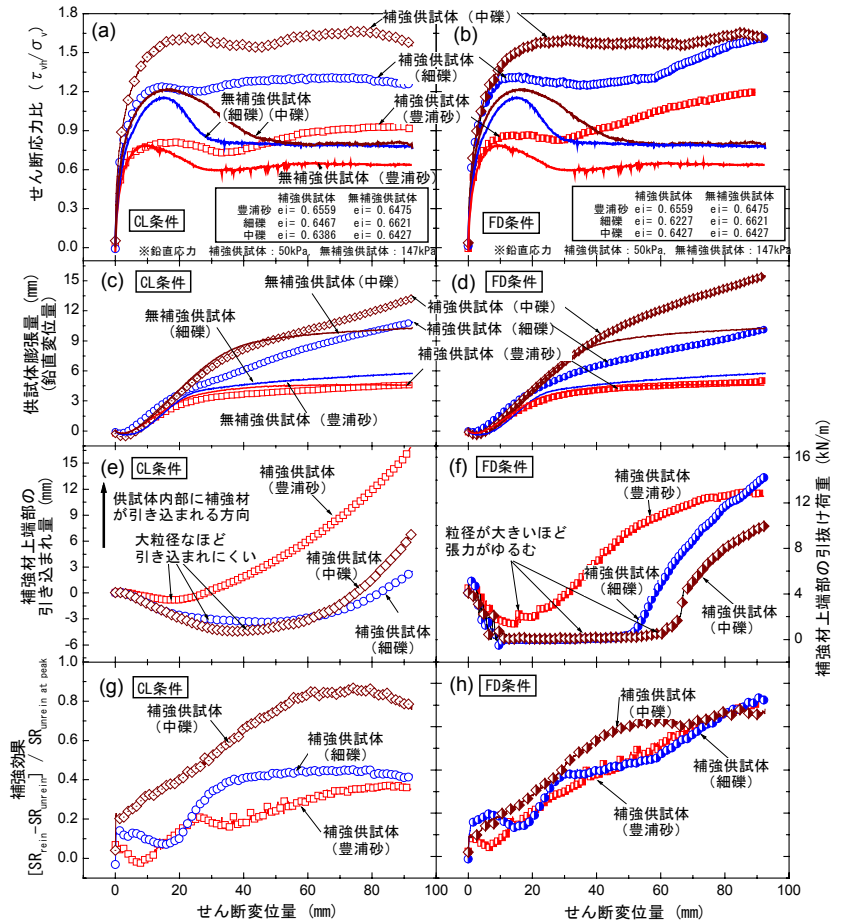


図-6 引張制御した補強供試体と無補強供試体の試験結果