コンクリート積層間の付着性状の評価に用いる引張剥離破壊試験に関する研究

京都大学 正会員 〇平野 裕一 京都大学 正会員 山本 貴士

1. 研究目的

コンクリート材料による 3D プリンティング構造物では,現在,吐出したコンクリートを積層して作製する 手法が一般的に考えられている.このため,積層間の付着性状の把握が課題のひとつに挙げられる.そこで, 偏心引き剥がし力を作用させる引張剥離破壊試験 Dを用いて評価した積層コンクリート供試体の付着力につ いて,従来の一軸引張接着試験および一体型の供試体との比較の上で考察を行った.

2. 試験概要

2.1 引張剥離破壊試験¹⁾

引張剥離破壊試験は、写真1に示すように、接着面の中心軸から少し離して引張軸を取り付け、2つの軸を 試験治具で連結させる.この状態で、一軸引張接着試験器の加力装置を用いて引張軸を引き上げると、試験治 具を介して、2層積の層間の引張軸側が起点となり剥離破壊が生じる.この剥離破壊は、層間の接着を剥がす ようにして、時間的には一瞬であるが、切り込みを入れた正方形の起点側の辺から破壊が生じる.

ー軸引張接着試験では、図1に示すようにアタッチメントの接着面に等分布荷重がかかる.一方,引張剥離破壊試験は図2に示すように,引張力を加えると,アタッチメントの,剥離破壊の起点の反対側の角が支点となり,接着面には三角形分布荷重がかかる.その三角形分布荷重が最大の箇所である剥離破壊の起点が,引張力に耐えられなくなったときに剥離破壊が始まると考えられる.

引張剥離破壊試験の評価は,三角形分布荷重の最大荷重を剥離破壊の起点の幅で除した値を単位幅当たりの

引張剥離破壊力 F(単位:N/mmwidth)と定義して実施する.まず,測定値の引張力 Pを補正する.図3に示すように引張軸と支点間の水平距離をD,支点からの引張 軸の下端までの高さをHとおくと,補正した引張力P'は式(1)で求められる.支点 まわりのモーメントの釣り合いから求める三角形分布荷重の最大荷重を剥離破壊 の起点の幅40mmで除し,Fは式(2)で求められる.本研究では引張剥離破壊試験 の引張軸と接着面の中心軸間の距離をシフト量とし,40mmと80mmで計測した.

 $P' = P \times D / (D^{2} + H^{2})^{1/2} \quad (1) \qquad F = P' \times D \times 3 / 40^{3} \quad (2)$ 2. 2 供試体

2.21代訊件

配合は、水結合材比 40%,結合材の 5%を高炉スラグ,細骨材率 53%,粗骨材の 最大寸法 15mm である. 突き固めをした通常の圧縮強度は 38.0N/mm² (1week)で

ある.この材料を長さ300mm,幅150mm, 高さ20mmになるように型枠に詰め,突 き固めをしないで,上面のみコテ均しし たものを一層とする.コテで吐出口と反 対側から押し出すように隙間をあけ,板 で断面全体を押しながらゆっくりと吐出 する(写真2).突き固めをしないのは, 流動性の確保と層間の付着性状を向上さ せるためである.これを2層に積みあげ た(写真3).打設の1週間後に表面をハ





図2 引張剥離破壊試験の 接着面にかかる分布荷重





キーワード 引張剥離破壊試験,一軸引張接着試験,積層構造,付着性状評価,3Dプリンティング 連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 社会基盤工学専攻構造工学講座構造材料学分野 TEL075-383-3173 ンドグラインダで均したのち, 40mm×40mm, 深さ 30mm の切 り込みを入れ、アタッチメントを 2 液型エポキシ樹脂接着剤で取 り付けた.この積層供試体を分割し別の十分大きなコンクリート塊 に 2 液型エポキシ樹脂接着剤で貼り付け試験体とした. 比較用と して1層のみの一体型の供試体で同様に試験体を作製した(写真4).

3. 試験結果および考察

(1) 一軸引張接着試験

測定した一軸引張接着試験器の引張力を, 40mm×40mm の正 方形の面積で除した引張強度を図4に示す.3箇所の測定値を平均 し,黒線は測定値の範囲である.ただし,一体型は測定中に試験器 の目盛の上限 5kN を超えたため、測定を途中で終了した.引張力 は 5kN, つまり, 引張強度は 3.1N/mm² 以上である. 簡易な試験 器であるため,強度の高い材料の評価への適用性に限界があると考 えられる.2層積は層間で破壊し、引張強度は一体型よりも少なく とも 42%以上小さい. また, 平均値のマイナス 25%からプラス 17% までの範囲でありばらつきは大きい.

(2) 引張剥離破壊試験

単位幅当たりの引張剥離破壊力を図5に示す.一体型の40mm シフトは3箇所、その他は2箇所の平均とし、黒線は測定値の範 囲である. 一体型の 40mm シフトは, ばらつきが他より大きいた め測定箇所を1箇所増やした.そのばらつきは、平均値のマイナ ス33%からプラス22%までの範囲である.

2層積の引張剥離破壊力は一体型よりも,40mmシフトでは49%, 80mm シフトでは 58%小さくなった. ここで, 80mm シフトの 2 層積,一体型の破壊後の剥離面の写真をそれぞれ**写真5**,写真6に

示す. 剥離破壊の起点側の辺を赤線で示す. 2 層積は層間で,一体型は表面のレイタンス層でそれぞれ破壊 が生じている.2 層積の剥離面はモルタル層で覆われており、空隙が多い.層間の引張剥離破壊力、つまり、 積層構造の剥離に対する抵抗性はレイタンス層の半分程度であると考えられる.

ここで、シフト量による違いについて考察する.図3に示すように、測定値の引張力Pは、支点と、引張 軸と引張剥離破壊試験治具の下面の交点とを結ぶ直線Lに直交する成分 P'と平行な成分 Prに分解できる.Pr は、直線 L の傾きが大きいほど、大きくなる. Prは、剥離面をせん断する方向の力になると考えられる. こ の力が余計に P にかかることから、Prが大きくなる 40mm シフトの方が、引張力 P が大きく測定され、引張 剥離破壊力も大きくなると考えられる.また、特に一体型では破壊終了まで剥離面が決まらず、支点の位置が 定まらないため, P', Prの向きが定まらない. そのため, 2 層積よりもばらつきが大きくなり, Prが大きくな る 40mm シフトではよりばらつきが大きくなると考えられる.よって,引張剥離破壊試験での比較測定では, 40mm シフトよりも P が小さく, ばらつきが小さくなる 80mm シフトの方が適していると考えられる.

4. 結論

1) 今回の方法で作製した積層コンクリート供試体の剥離に対する抵抗性はレイタンス層の半分程度であった.

2) 引張剥離破壊試験は一軸引張接着試験では評価できない付着性状の比較が可能である.

3) 引張剥離破壊試験は 80mm シフトの方が 40mm シフトよりも測定値の引張力が小さくばらつきが小さい. **謝辞** 本研究は JSPS 科研費 JP20H00940 の助成を受けたものである.

参考文献 1) 国立大学法人京都大学,平野裕一:引張剥離破壊試験方法及び試験装置,特許第 6829367 号, 2021.2





写真2 板での押し出し 写真3 2 層積の供試体