

炭素繊維グリッドによる橋梁フーチングの曲げ補強の载荷実験（その1 実験概要）

(国研)土木研究所 正会員 ○楊 勇, 非会員 行藤 晋也, 会員 堀内 智司, 会員 桐山 孝晴
大阪工業大学 非会員 権 淳日

1. はじめに

近年、切迫性が指摘される南海トラフ地震や首都直下型地震への対策としては、インフラ施設の地震レジリエンス強化が重要である。膨大な数を有する既設道路橋に対しては、上部構造だけでなく基礎を含めた橋全体系の耐震補強が必要であると考えられる。数が最も多い既設道路橋の杭基礎においては、現行の道路橋示方書¹⁾に規定されたレベル2地震動に対して、フーチング部材の耐震性能が不足となるケースが多い。また、2016年熊本地震においては、既設フーチングの被害事例²⁾が確認された。

本研究では、既設フーチングの上面曲げ耐力が不足の場合を想定し、炭素繊維グリッドによる増厚工法の補強効果を载荷実験より検証し、曲げ補強工法の提案を目的とする。炭素繊維グリッドによる増厚工法は、従来の鉄筋コンクリートによる増厚工法と比べて増厚層が薄いため、土被り減少が少ないこと及び死荷重増加による既設基礎への影響が小さいことが特徴である。

本報では、炭素繊維グリッドによる増厚工法を用いたフーチングの曲げ補強の载荷実験の概要を報告する。

2. 炭素繊維グリッドによるフーチングの曲げ補強の考え方

炭素繊維グリッドによる増厚工法を実橋のフーチングに適用する場合、曲げ補強詳細の考え方を図-1に示す。橋脚位置によるグリッドの切断及びそれに伴う継手の配置が必要であると想定される。そのため、同図に示すように、橋脚位置の補強に合わせて橋脚周辺のグリッドの切断位置にL型継手を、その以外の切断位置に平板継手を設置する。橋脚周辺のL型継手が橋脚側面との剥離を防ぐため、橋脚側面にもL型の継手を設ける。また、フーチング上面の母材のグリッドの端部定着は、L型継手のグリッドを側面に設置することにより確保する。

3. フーチング供試体の詳細

既設フーチングの寸法・配筋詳細及びグリッドによるキーワード 炭素繊維グリッド, 橋梁フーチング, 曲げ補強, 载荷実験

る補強詳細を図-2に示す。グリッドを既設フーチングに設置した後の様子を図-3に示す。なお、上面母材のグリッドの端部定着は、载荷方向のみにL型継手を設置することとした。グリッドによる補強の施工は、無補強の既設フーチングの水平载荷を行った後に、载荷によるひび割れを修復した上で実施した。

既設フーチングの寸法は幅1100mm・奥行1100mm・高さ250mmである。橋脚の寸法は幅350mm・奥行290mm・高さ1125mm(補強前のフーチング上面天端より)である。また、杭列は、2×3とし、杭の寸法は、杭径が約140mm・長さ250mmである。

既設フーチングのコンクリートの設計基準強度を $F_c=21\text{N/mm}^2$ とする。既設フーチングの配筋詳細は、フーチング上面の二方向に主鉄筋D6-10本(SD295A、間隔が約100mm)を、フーチング下面の二方向に主鉄筋D13-10本(SD295A、間隔が約100mm)を、橋脚付近にフーチングの高さ方向に鉛直鉄筋D10(SD345、4本/1断面×6断面)を配置した。橋脚の配筋詳細は、橋脚の破壊がフーチングより先行に発生しないように主鉄筋に高強度SD490のD19-22本を、せん断補強鉄筋にD10(SD345、間隔が約50mm)を使用した。橋脚の主鉄筋の下端を鋼板に溶接して定着させた。杭の配筋詳細は、主鉄筋にD16-8本(SD345)を、せん断補強鉄筋にD6(SD345、間隔が約50mm)を使用した。杭の主鉄筋の下端は、供試体の固定用鋼板に溶接して定着させた。

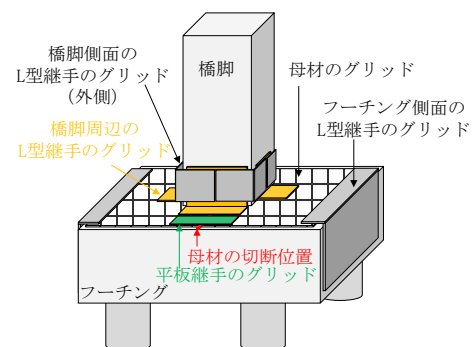


図-1 炭素繊維グリッドによるフーチングの増厚工法の考え方

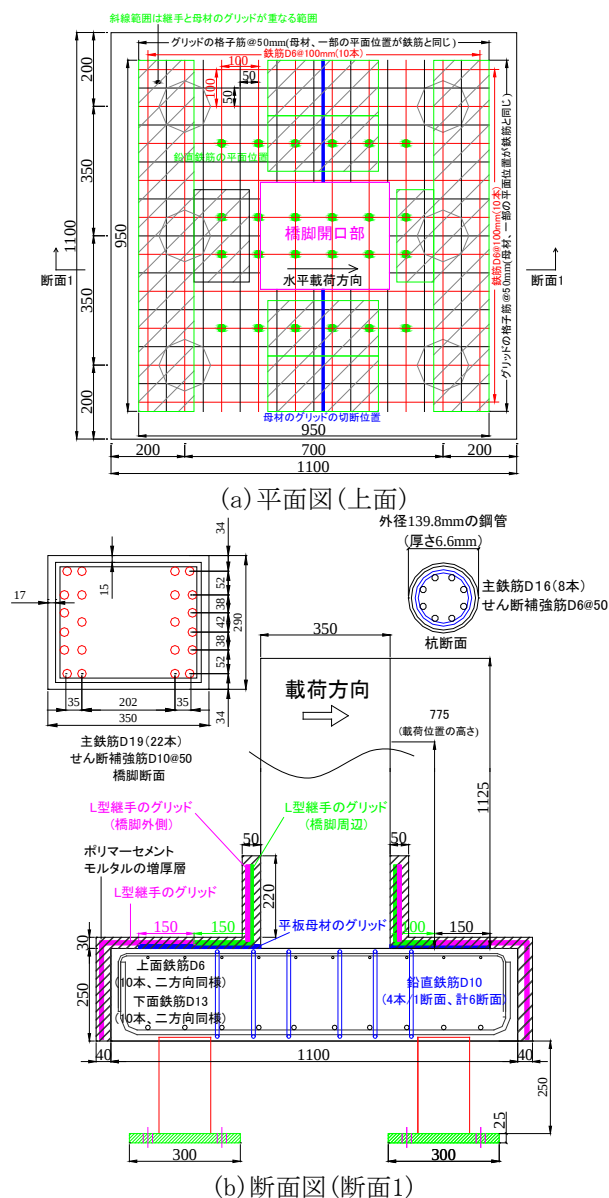
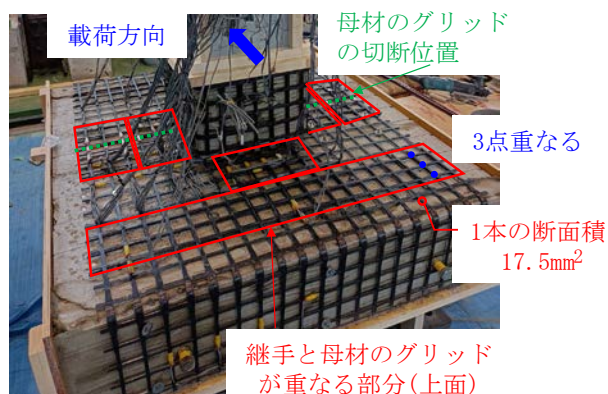
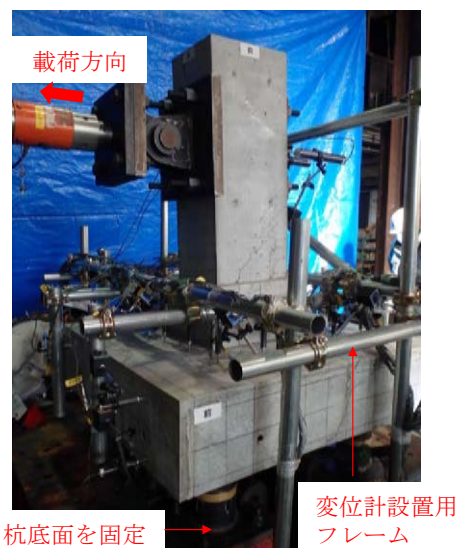


図-2 フーチングの寸法・配筋及び補強詳細



また、既設フーチングの曲げ補強に格子サイズが $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ の炭素繊維グリッド (1 本格子筋の公称断面積 17.5mm^2 、引張強度の規格値 1400N/mm^2 以上) を使用した。継手と母材のグリッドが 3 点重なる³⁾ように配置した。グリッドをフーチングに設置した後に、ポ



リマーセメントモルタルを塗布した (圧縮強度の規格値 45N/mm^2 以上)。なお、L 型継手のグリッドの折り曲げ位置に合わせるために橋脚とフーチング側面のモルタルの厚さは、フーチングの上面より大きかった。

4. 荷重方法

図-4 に示すように供試体の杭底面を反力床に固定した上で、補強前のフーチング上面より高さ 775mm の橋脚位置 (図-2(b)) に一方向繰り返し水平荷重を変位制御で行った。フーチングの上面鉄筋の初降伏時に荷重位置の水平変位を基準とし、各レベルの変位に対して繰り返し荷重の回数を 1 回とした。なお、本荷重実験には、上部構造の自重を考慮せずに軸力を 0 とした。

水平荷重の段階において、橋脚の荷重位置の荷重・変位、フーチング上面の鉛直変位、フーチング側面の水平変位及び鉄筋・グリッドのひずみを計測した。

5. まとめ

本報では、炭素繊維グリッドによるフーチングの曲げ補強の考え方、フーチング供試体の詳細及び荷重方法を報告した。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説, IV 下部構造編, 2017.11.
- 2) 西谷朋晃, 長谷俊彦, 李首一, 中谷隆生: 熊本地震により損傷したフーチングの耐震性能評価に関する実験的検討, 第 22 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム, 2019.7.
- 3) FRP グリッド工法研究会: FRP グリッド増厚・巻立て工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル (案), 2019.

炭素繊維グリッドによる橋梁フーチングの曲げ補強の载荷実験（その2 実験結果）

(国研)土木研究所 正会員 ○楊 勇, 非会員 行藤 晋也, 会員 堀内 智司, 会員 桐山 孝晴
大阪工業大学 非会員 権 淳日

1. はじめに

本報においては、炭素繊維グリッドによる増厚工法を用いた橋梁フーチングの曲げ補強の载荷実験について、前報その1に引き続き実験結果を報告する。

2. 橋脚载荷位置の水平荷重と水平変位の関係

補強前後に橋脚における水平荷重と水平変位の関係を図-1に示す。補強前の一方向繰り返し水平载荷においては、载荷位置の水平変位が4.81mm（基準変位1y）となった時にフーチング上面鉄筋が初降伏状態に達した。その後、水平変位の増加に伴いフーチング供試体の水平剛性が低下し、水平変位が5yの時に水平荷重が補強前の最大値（313.50kN）となった。その後、水平変位が6yに達するまでは、最大水平荷重がほぼ保持され、水平荷重の低下が発生しなかった。

補強後の初期载荷段階（水平変位が7yに向かう途中）においては、フーチング供試体の水平剛性は、補強前の水平変位レベルが6yの時と比べて明らかに増加され、グリッドによる増厚層が既設コンクリートと一体化になることが考えられる。また、補強後の水平荷重の最大値は、347.50kNとなり補強前の最大値よりやや増加した。水平変位が7y以降には、水平荷重が水平変位の増加に伴い急激に低下せず徐々に減少し、それは既往研究の実験結果¹⁾とほぼ同様な変化傾向であった。

3. 補強前後の破壊形態の変化

補強前後の繰り返し载荷において水平変位が6yと14yの除荷後に観察したフーチングの上面と側面の主要なひび割れとその幅を図-2に示す。補強前の载荷段階においては、フーチング上面に曲げ照査断面付近だけでなく橋脚幅の範囲にも幅の大きいひび割れが発生した。また、フーチング上面からのひび割れは、ひび割れ幅の大きさに示す通りにほぼまっすぐ側面の下縁まで進展した。これらのひび割れの分布・発生方向および前述した水平荷重の変化傾向の実験結果から、補強前のフーチングの破壊形態は曲げ破壊が支配的であると考えられる。

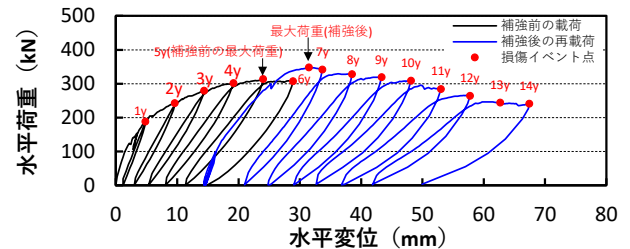
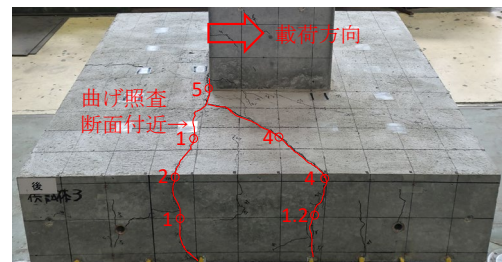
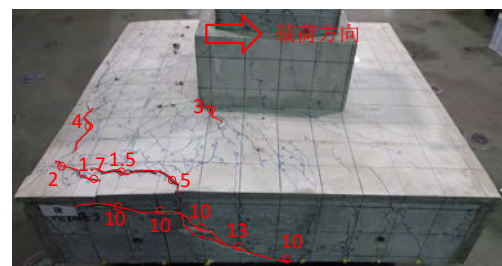


図-1 橋脚における水平荷重と水平変位の関係



(a) 補強前（水平変位6yの除荷後）



(b) 補強後（水平変位14yの除荷後）

図-2 補強前後の主要なひび割れの分布とその幅（単位 mm）

補強後の载荷段階においては、フーチング上面の増厚層に曲げ照査断面付近や橋脚幅の範囲にひび割れが発生したが、ひび割れの幅が補強前と比べて明らかに小さかった。補強前にフーチング側面に発生したひび割れの幅は、補強後に水平変位の増加にもかかわらずほとんど変化しなかった。これらの結果から、グリッドによる増厚層と既設コンクリートが一体化となり、フーチング断面の作用力を抵抗しひび割れの進展を抑制したことが考えられる。一方、フーチング上面の端部及び側面においては、補強後の载荷段階（水平変位が約7y～8yの载荷段階）に新しいひび割れが発生し、ひび割れの幅が他の位置より明らかに大きかった。また、ひび割れの発生方向については、特にフーチング側面のひび割れが補強前と異なり斜めとなった。

キーワード 炭素繊維グリッド, 橋梁フーチング, 曲げ補強, 载荷実験

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研)土木研究所 CAESAR TEL. 029-879-6773

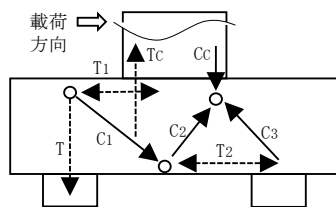
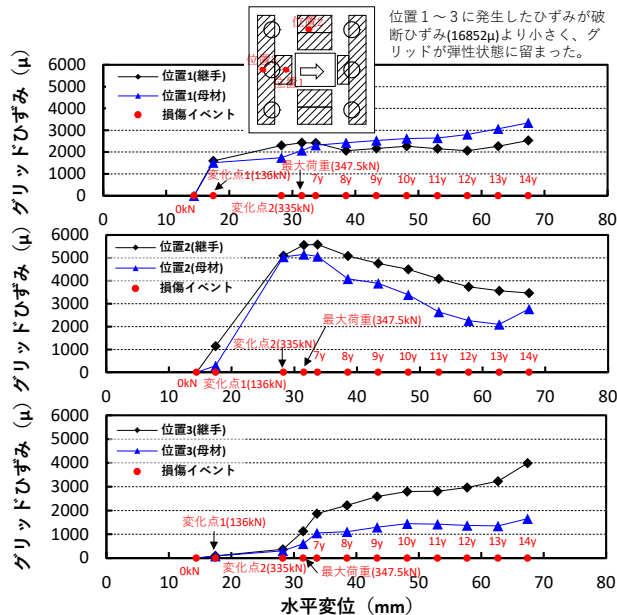
図-3 ストラット・タイモデルによるフーチングの耐荷機構²⁾

図-4 グリッドひずみと水平変位の関係

以上のフーチング上面・側面におけるひび割れの分布・発生方向の実験結果より、補強前後にフーチングの破壊形態は変化したことが分かる。その原因をストラット・タイモデルによるフーチングの耐荷機構²⁾（図-3）に基づき説明する。補強前には、タイ T_1 の強度が低くて曲げ照査断面付近や橋脚幅の範囲にひび割れが発生し、曲げ破壊が支配的であった。補強後には、グリッドの増厚層によりタイ T_1 の強度を大幅に増加したために補強前のひび割れが抑制され、ストラット C_1 の強度が相対的に低くなったためにフーチング側面に斜めなひび割れが発生し、せん断破壊が支配的であると考えられる。また、図-1 に示すように、補強後の水平荷重は、グリッドの曲げ補強効果が十分に発揮する前にフーチングにせん断破壊が発生したため、補強前と比べて大幅に増加できなかった。

4. 継手と母材のグリッドにおける応力伝達

フーチングの奥行幅の中央（位置1）・端部（位置2）及びフーチングの端部（位置3）における継手と母材のグリッドのひずみと橋脚の水平変位との関係を図-4 に示す。なお、同図に示す変化点1・2は、グリッドひずみの変化傾向が明らかに変わる点である。また、位置1～3は、継手と母材が重なる位置で、両者のフーチング

上面における平面位置が同様である。

位置1～3における継手と母材のひずみは、最大水平荷重時まで水平変位の増加とともにほぼ同様に増加することが分かる。最大荷重時以降、継手と母材のひずみの大きさは、位置3においてひび割れの影響により大きく離れ、位置1・2においてはほぼ同程度であった。これらの結果より、継手と母材のグリッドがほぼ一体化となりフーチング断面の作用力に抵抗することが考えられる。

また、各位置におけるグリッドのひずみの変化傾向を比較すると、変化点1に達する前には、位置1のひずみは位置2・3より速く増加し、フーチングの奥行幅の中央範囲に大きな力が作用していたことが分かる。その後、位置1のひずみの増加が鈍くなり、位置2のひずみがより速く増加し、フーチングの奥行幅の両側範囲により大きな力を発生し、フーチング断面の作用力が再分配されたことが分かる。変化点2に達した後は、位置3のひずみが急増し、最大荷重時になるまでに水平荷重が僅かに増加した。その原因は、図-2 に示す斜めなひび割れの進展に伴い、せん断破壊が発生した直後に水平荷重が最大値となることが考えられる。

5. まとめ

補強前後にフーチングの破壊形態が変化したため、炭素繊維グリッドによるフーチング上面の増厚工法の補強効果を定量的に検証できなかったが、補強前のひび割れの抑制効果や継手・母材のグリッドと既設フーチングの一体化の観点から炭素繊維グリッドによるフーチングの曲げ補強の有効性が概ね確認できた。

謝辞

本研究、JSPS 科研費（20K14819、代表：楊勇）の助成を受けたものである。本研究を遂行するにあたり、研究に関するご助言、材料の提供及び工法のご指導を日鉄ケミカル&マテリアル株式会社より、載荷実験の場所・設備の提供及びご協力を大阪工業大学八幡工学実験場の皆様より頂きました。ここに感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 安藤ら：多列杭を有する既設フーチングの耐震性に関する実験的検討，第20回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム，2017.7.
- 2) 川本篤史， 福井次郎， 白戸真大：上面側が引張りとなる場合のフーチングのせん断破壊に関する数値解析，土木技術資料，Vol.43(9)，pp.40-45，2001.