既設基礎の補強に関する研究
—シートパイルと既設フーチングとの接合部に関する模型載荷実験—

鉄道総合技術研究所　正会員　○出羽　利行，西岡　英俊，神田　政幸
大林組　正会員　武田　篤史，山本　忠久，平尾　淳一

1．はじめに

筆者らは，既設の杭基礎の周囲に配したシートパイル（SP）と既設フーチングを一体化させる既設基礎の補強工法の開発を進めている[1)]。本稿では，接合方法として既設フーチング上面に施工する増しフーチングを介して SP と既設フーチングを剛結する方法（**図 1**）に着目し，既設フーチングと増しフーチング部との接合面の発生応力の確認およびその評価を目的として実施した接合部模型の静的載荷実験について報告する。

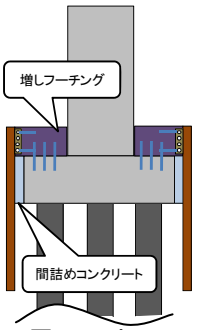

図 1 SP とフーチングの接合方法

2．載荷実験の概要

載荷実験の概要を**図 2** および**表 1** に示す。模型はフーチングを有する基礎の補強を想定し，実物の 1/2～1/3 の寸法とした。既設フーチングの上面にアンカー鉄筋を介し，増しフーチング（コンクリート：実強度 f'_c=43.2N/㎜^{2}，軸方向鉄筋：上側 3-D16，下側 3-D16，実降伏点 f_{sy}=389.4 N/㎜^{2}）を配した構造である。既設フーチングと増しフーチングの間はテフロンシート（t=0.1 ㎜）により付着力を除去した。Case-1 と Case-2 の 2 体で，既設フーチングと増しフーチングの定着させる長さを変化させ，実補強では橋軸方向と橋軸直角方向で定着可能な長さが異なることを反映させた。Case-1 では 4 列（奥行き方向 2 列，計 8 本），Case-2 では 7 列（奥行き方向 2 列，計 14 本）のアンカー鉄筋（実降伏強度 f_{sy}=367.5N/㎜^{2}）を配置した。なお，本実験はアンカー鉄筋の定着に着目したものではないため，アンカー鉄筋の引抜け防止のための定着プレートを上下端に配置した。また、あと施工アンカーを用いた施工ではなく、コンクリート打設時にあらかじめアンカー鉄筋を所定の位置に配置して、コンクリートとの一体化を図った。

載荷方法は，アンカー鉄筋に曲げと引張軸力が同時に作用する状態とし，既設フーチング部を PC 鋼棒で反力床上に固定後，増しフーチングの張出し部に鉛直上向きに載荷（SP 上向き反力を模擬）した。載荷位置は既設フーチングと SP の離隔が小さい場合（載荷②，実物で 500mm 程度）と大きい場合（載荷①③，実物で 1m 程度）を想定し 2 点とした。載荷パターンは各試験体において，載荷①でアンカー鉄筋が降伏点に達するまで（弾性範囲内）載荷後，除荷を行い，ジャッキを移動して載荷②で再載荷を行った。Case-1 の載荷②では終局状態に至るまで実施し，一方，Case-2 の載荷②では降伏点までとし，載荷③で再度位置を変え終局まで載荷を行った。

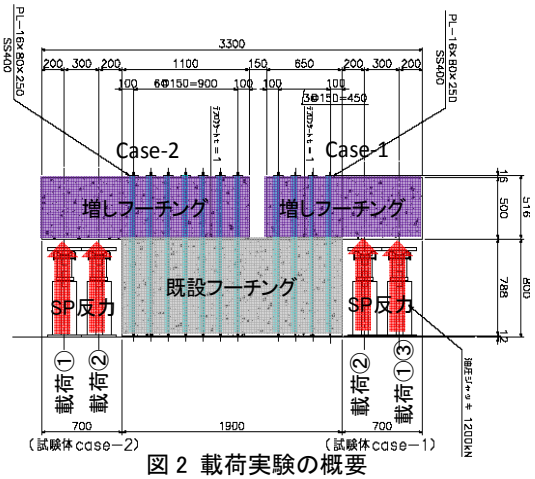

図 2 載荷実験の概要

3．実験結果

Case-1：載荷①では試験体にひび割れは確認されなかった。載荷②では，載荷点より近い側から 1，2，3，4 列目とアンカー鉄筋が順番に降伏し，全アンカー鉄筋が降伏して試験を終了した。**図 3** にアンカー鉄筋のひずみ分布を示す。1 列目のアンカー鉄筋が降伏するまで（**図 3** 中の実線）は，ひずみ分布が直線となった。一方，アンカー鉄筋降伏後はひずみ分布は上に凸の曲線形状となった。

Case-2：Case-2（載荷③）の荷重－変位関係を**図 4** に示す。載荷①では，1 列目のアンカー鉄筋が降伏ひずみに到達するまでの間に，増しフーチングに曲げひび割れが発生した。載荷②では新たなひび割れは発生しなかった。載荷③では，1，2，3 列目とアンカー鉄筋が端部から順番に降伏後，増しフーチングの下側主鉄筋が降伏に達した。その後，4，5 列目のアンカー鉄筋が降伏した後に，増

表 1　試験供試体のパラメータ

試験体No	アンカー鉄筋		増しフーチング断面			
	鉄筋径	列数(本数)	寸法	フーチング定着長	主鉄筋	スターラップ
Case-1	D13	4列(8本)	B350×H500	650	6-D16(SD345)	D13(SD345)@75
Case-2	〃	7列(14本)	〃	1100	〃	〃

キーワード　アンカー鉄筋，フーチング，補強，シートパイル
連絡先　〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部　TEL042-573-7261

しフーチングの上側にコンクリートの圧縮破壊を確認し試験を終了した。図 5(a)(b)に，アンカー鉄筋のひずみ分布を示す。載荷①での増しフーチングにひび割れが入るまで（図 5(a)中：載荷①0.5 δ y）は，ひずみ分布は直線となるが，増しフーチングにひび割れが発生した直後およびそれ以降の載荷②のひずみ分布は曲線形状となった。同様に，載荷③において，1 列目アンカー鉄筋降伏以降のひずみ分布についても曲線形状となった。

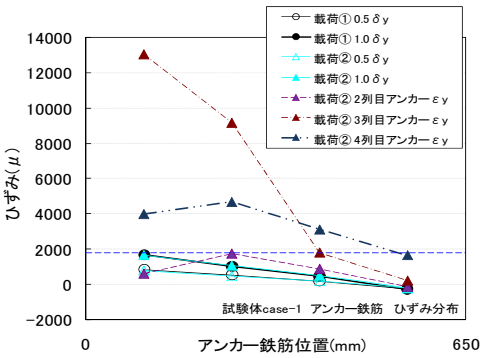

図 3 アンカー鉄筋ひずみ分布（Case-1）

4．考察と評価

アンカー鉄筋のひずみ分布が直線となった降伏点以下に着目し，得られたひずみ分布をもとに，接合面での内力と外力の釣合いを条件として，接合部の応力状態を確認した。その結果，コンクリートの圧縮負担力が非常に小さく，通常の RC 部材の断面計算で求められる三角形分布と仮定したコンクリートの圧縮力に対して，本実験では，1 列目アンカー鉄筋の降伏時点で計算値の 1/9 程度，アンカー鉄筋のひずみが降伏ひずみの 50%の時点で 1/11～1/15 程度であった。このように，分離した断面ではアンカー鉄筋が降伏点以内といえども通常の RC 断面のような連続した応力分布は示さず，コンクリートの圧縮力が十分に発揮されないことを確認した。

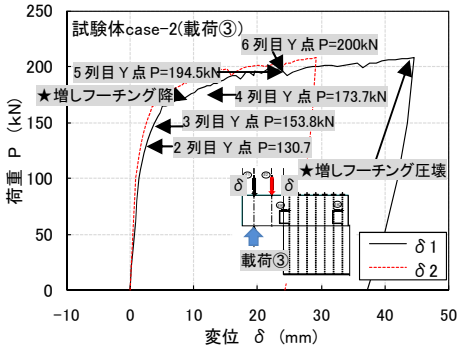

図 4 Case-2 荷重－変位関係(:載荷③)

以上よりコンクリートの圧縮力を無視し，アンカー鉄筋のみで外力（曲げと引張軸力）に抵抗するとすれば，式(1)で 1 列目のアンカー鉄筋の応力度を求めることができる。ここで，$\sigma_{(l/2)}$は 1 列目のアンカー鉄筋の応力度（kN/m^2），P は SP 反力（上向き）（kN），A_s は有効範囲内にあるアンカー鉄筋の断面積（m^2），a は既設フーチング端部から SP 中心までの距離（m），l は有効範囲内にある最端アンカー鉄筋同士間の距離（m），y_0 は有効範囲内にあるアンカー鉄筋の図心から各アンカー鉄筋までの距離（m）である。なお，アンカー鉄筋の有効範囲については，本実験でアンカー鉄筋の全列が反応していたことから，少なくとも実験で確認された増しフーチング高さ H の 2 倍以内は有効範囲であると考えられる。

$$\sigma_{(l/2)} = \frac{P}{\sum A_s} + \frac{P\cdot(a+l/2)}{\sum A_s \cdot y_0^{\,2}} \cdot \frac{l}{2} \quad \text{式(1)}$$

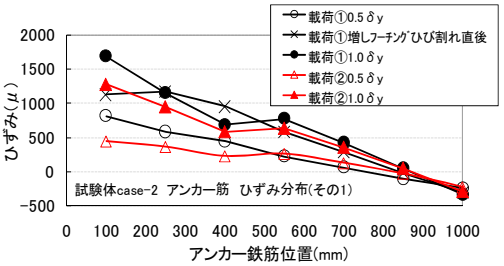

図 5(a) アンカー鉄筋ひずみ分布（1）

式(1)を $\sigma_{(l/2)}$を説明変数，P を目的変数とする式に変形し，実験から得た $\sigma_{(l/2)}$を代入することで，P（P_{cal} と呼ぶ）を算出することができる。これと載荷実験の外力 P（P_{exp} と呼ぶ）を比較したものが図 6 である。図 6 は P_{exp}/P_{cal} をアンカー鉄筋の応力度との関係で示した。降伏点に近い領域（図 6 横軸≒75～100%）では P_{exp}/P_{cal} が全て 1.0 以上となり式(1)は安全側の解を与え，最も降伏点に近い状態（図 6 横軸≒95%）では 7%～15%の安全側となった。一方，発生応力が降伏点より小さい場合（図 6 横軸≒25%～50%）には，1.0 よりも小さな値が存在した。

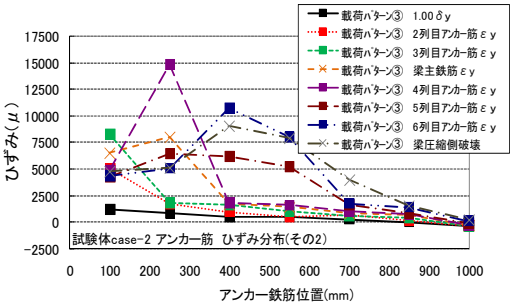

図 5(b) アンカー鉄筋ひずみ分布（2）

5．まとめ

既設フーチングとその上面の増しフーチングを接合するアンカー鉄筋に対して曲げと引張を同時に作用させた静的載荷実験により以下を確認した。

・接合面に発生するコンクリートの圧縮力は通常の RC 断面計算で算定される圧縮力に比べてかなり小さい。

・接合面のコンクリートの圧縮力を無視し 1 列目のアンカー鉄筋の応力度を算定した場合，降伏点に近い領域では，計算値に対して 7%~15%の安全側の解（載荷荷重）を得た。

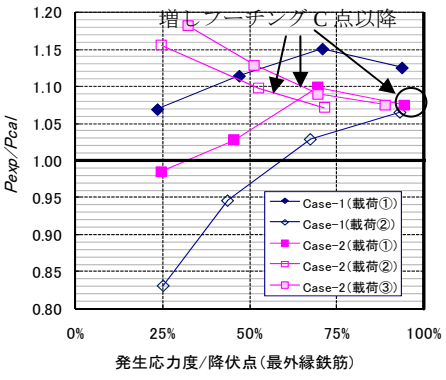

図 6 計算値と実験値の比較

参考文献　1)西岡英俊，神田政幸，山本忠久，樋口俊一：シートパイルで補強された杭基礎の水平抵抗に関する基礎的模型実験，第 42 回地盤工学研究発表会（名古屋），pp.1229-1230，2007.7