

光ファイバセンサによる鋼管杭のひずみ測定 (その2)

(Strain measurement of a steel pipe pile using optical fiber sensor (Part II))

独立行政法人北海道開発土木研究所○正会員 日下部祐基 (Yuki KUSAKABE)

同 上 同 上 池田 憲二 (Kenji IKEDA)

同 上 同 上 富澤 幸一 (Koichi TOMISAWA)

北海道開発局釧路開発建設部 寺岡 伸幸 (Nobuyuki TERAOKA)

1. まえがき

最近、光ファイバの連続したひずみを測定する技術を応用して、光ファイバをひずみ測定対象物に貼付あるいは埋設し、測定対象物に発生したひずみを連続的に捉える手法¹⁾が研究開発されている。本研究は、この手法を打ち込み鋼管杭のひずみ測定に適用することを目的としている。過去の研究では、場所打ちコンクリート杭に光ファイバを埋設して杭体ひずみが測定され、ある程度良好な結果^{2) 3)}が得られている。また、前回の報告⁴⁾では鋼管杭に光ファイバを貼付する際に必要となる金属溶接に対する耐久性について検討し、さらに光ファイバを貼付した鋼管杭の鉛直載荷試験を行って、ひずみ測定が可能であることを確認すると共に、測定値の整理方法を提案した。

本報告では、長尺な打ち込み鋼管杭の各種載荷試験を実施する機会が得られたことから、杭打設時の継ぎ足し部分の処理方法および光ファイバの簡易な貼付方法について検討したので報告する。

2. 試験概要

試験杭は、杭長 65.0m、杭径 600mm の打ち込み鋼管杭である。現地では、試験杭 2 本を用いて鉛直載荷試験と水平載荷試験が実施された。鉛直・水平の

各載荷試験は、地盤工学会基準^{5) 6)}に準拠して鉛直載荷試験で最大荷重 6000kN、水平載荷試験で最大荷重 170kN とした。

光ファイバは、鉛直載荷試験に用いた杭では全長に貼付することを試み、水平載荷試験用の杭では上杭と直下の中杭の 2 杭に貼付して継ぎ足し処理を行った。光ファイバの貼付方法としては、鉛直載荷試験用の杭では今回新たに考案した方法として、杭体に直接瞬間接着剤を用いて貼り付けてエポキシ系樹脂で保護する方法を採用した。水平載荷試験用の杭では、前回同様に杭の上下 50cm 離れた位置から溝を切った丸鋼 (φ16mm) を杭体に溶接した後、光ファイバを溝内に瞬間接着剤で止めてエポキシ系樹脂で埋設する方法を用いた。

また、試験杭には地層境界付近および厚い層では中間に、ひずみゲージを貼付した。水平載荷試験用杭における、光ファイバを貼付した深さまでの土質柱状図と各測定器の配置図を図-1に示す。

水平載荷試験用杭で用いた杭継ぎ足し部処理方法としては、図-2に示すように光ファイバ端部処理保護カバーおよび鋼管接合部光ファイバ処理カバーを製作して杭に取り付け、この中に余長を持たせた光ファイバを挿入して保護する方法を用いた。

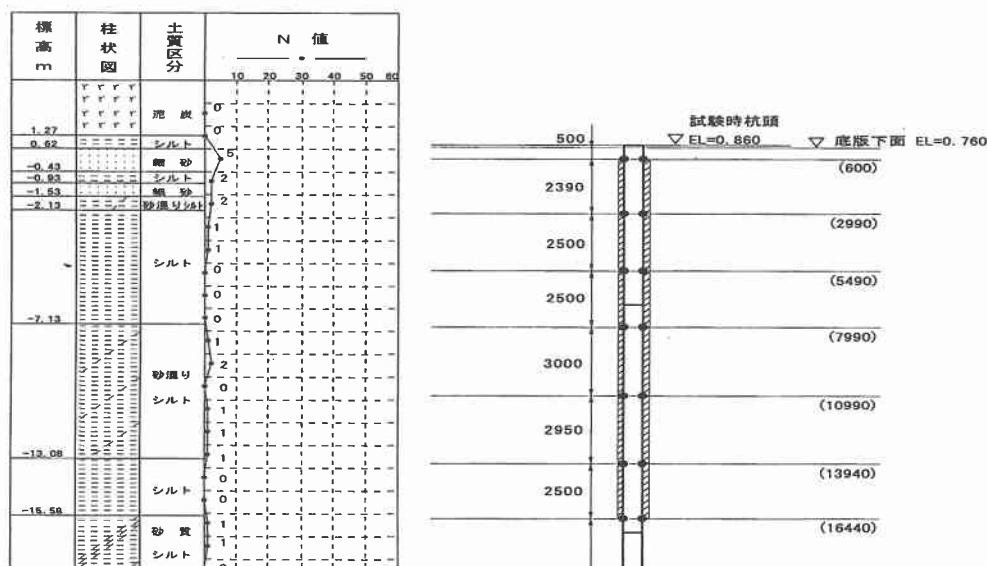
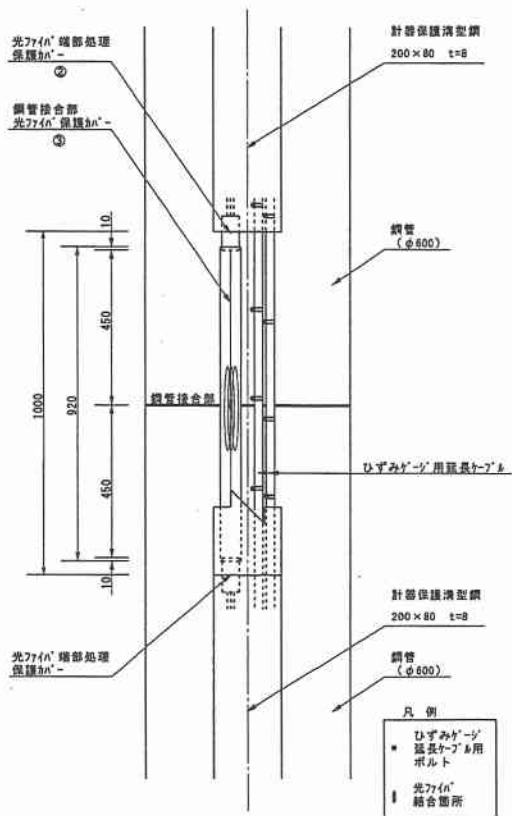
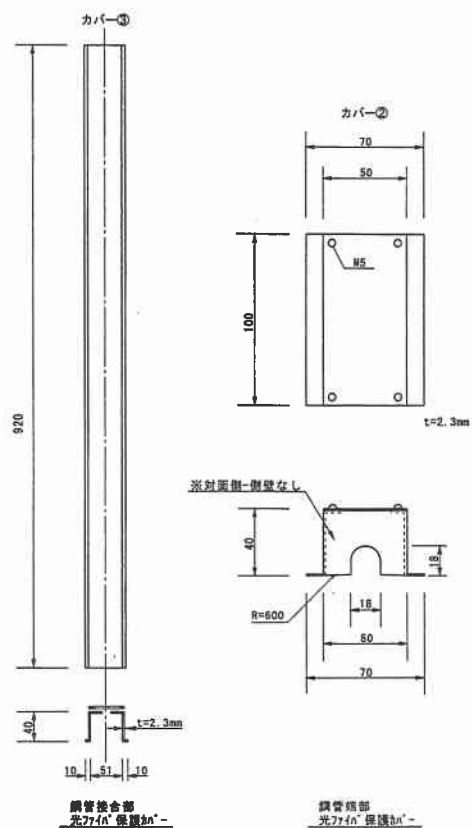


図-1 土質柱状図および各測定器配置図

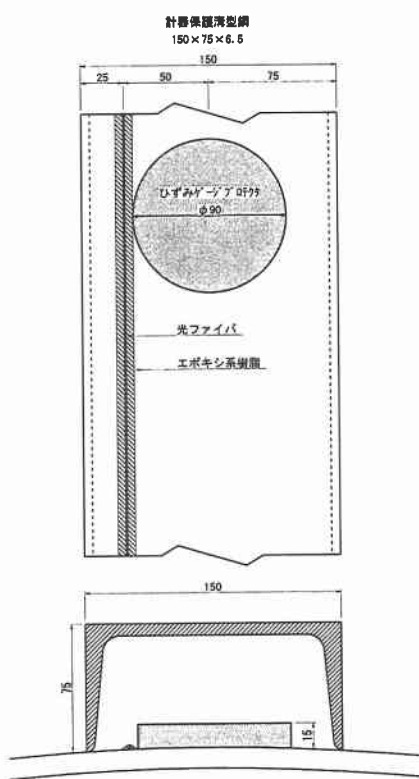


(a)部材配置図

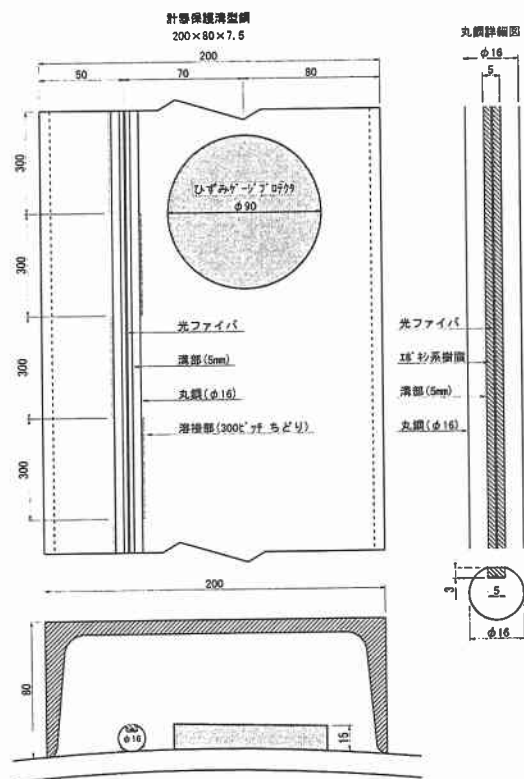


(b)部材詳細図

図－2 杭継ぎ足し部処理部材



(a) 鉛直載荷試験杭光ファイバ設置図



(b) 水平載荷試験杭光ファイバ設置図

図－3 光ファイバ貼付位置の比較

3. 試験結果と考察

3. 1 杭の鉛直荷重試験

鉛直荷重試験杭で用いた光ファイバの貼付方法は、簡易な方法の開発として杭に光ファイバを直接貼り付ける方法を用いた。この方法は、前回の試験および水平荷重試験杭に用いた方法と比較すると、溝切り鉄筋の製作および杭体への溶接作業が省略できることから、経済的に優位であり作業も簡略化できる利点がある。しかし、試験の結果は杭体ひずみの測定が不可能であった。この原因は、光ファイバを杭体に直接貼り付けることが可能であったが、杭打設時の地盤貫入抵抗から光ファイバを防護するための溝型鋼を溶接する際に火花が発生して、保護材としたエポキシ系樹脂に引火して焼失したためである。

図-3は、鉛直荷重試験杭の光ファイバ貼付配置図と、前回の貼付方法と同様の水平荷重試験杭の配置図を比較したものである。水平荷重試験杭の光ファイバは、丸鋼に保護されていることに加えて計器保護用溝型鋼の幅が広いために、溶接箇所と光ファイバの離れが大きいことも、溶接火花により燃焼し難い構造になっていることが推測される。今後、杭体に光ファイバを直接貼り付ける方法には、光ファイバを溶接箇所から離す工夫と、溶接火花の飛散防止方法等を開発する必要がある。

3. 2 杭の水平荷重試験

水平荷重試験杭の測定では、杭載荷面の反対側（圧縮ひずみが卓越する測線）のひずみが測定できなかった。この原因は、測定不可能になった位置と、杭打設後に光ファイバを測定器まで延長するために継ぎ足した位置とが一致していたことから、光ファイバの接続不良であることが考えられる。これに対する対策としては、試験開始前に入念な点検をすることで対処可能であったと思われる。

載荷面側の引張ひずみが卓越する測線では、ひずみが測定された。この測線においては、杭継ぎ足し部処理により中杭のひずみも測定可能であった。図-4は、測定深度と各測定器による杭体ひずみ測定値を示したものである。なお、光ファイバによるひずみ測定深度は、貼付位置と測定原理を考慮すると測定杭の上下 1m（杭継ぎ足し部では上下 1m の計 2m）が測定されないため、この深度を除いて示した。

光ファイバによるひずみ測定値は、平滑な曲線形状を示さずかつ各載荷荷重とひずみ測定値の関係に相関が見られない。これらの傾向は、これまでも確認されており、前回の報告ではこの対策法として 5 点移動平均法による平滑化と、他のひずみ測定器 1 点の併用による補正方法を提案した。図-5は、これらの対策法を今回の測定値に適用して補正したものである。1 点併用のひずみゲージは、深度 3m のものを採用した。

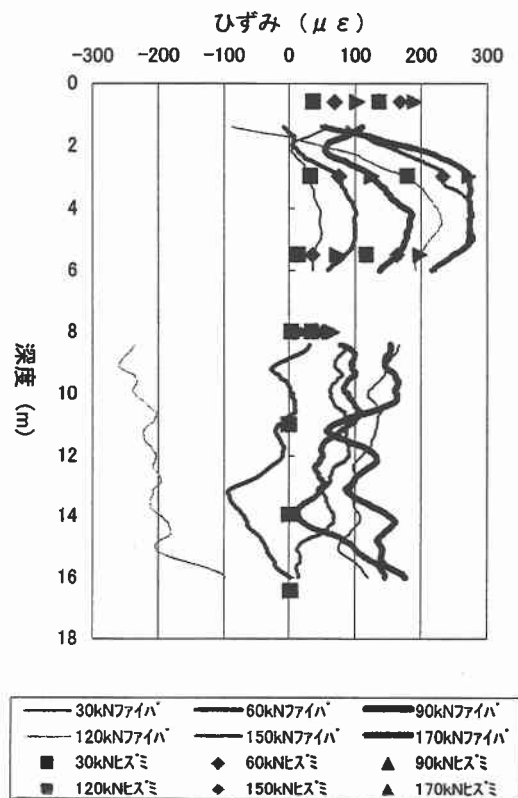
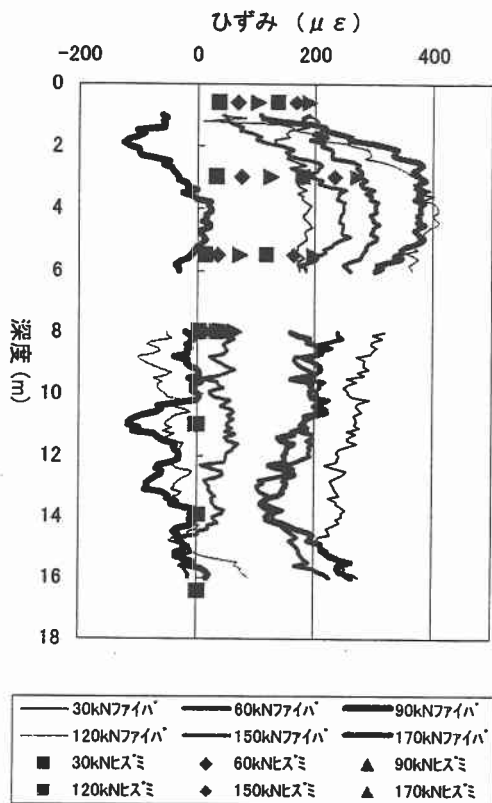


図-4 測定深度と各測定器による杭体ひずみ測定値

図-5 平滑化および補正した光ファイバひずみ

補正後のひずみ測定値では、上杭の測定値については載荷荷重と相関が見られるが、中杭の測定値には相関が見られない。このことから杭継ぎ足し部処理を行った場合には、その前後でシフト量が変わることが考えられる。ここでは、上杭の深度 3m ひずみゲージ測定値のみの補正で示したが、補正は各杭ごとに行う必要があることが推察される。

図-6 は、中杭の深度 11m ひずみゲージ測定値で光ファイバによるひずみ測定値を補正して示したものである。補正することにより、中杭の他深度の光ファイバによるひずみ測定値が、同深度のひずみゲージによる測定値とあり程度一致してくる。しかし、今回の光ファイバひずみ測定値には、ばらつきが認められる。このことについては、前回の貼付方法と異なった作業内容等を細部から抽出検討して、再度試験調査する所存である。

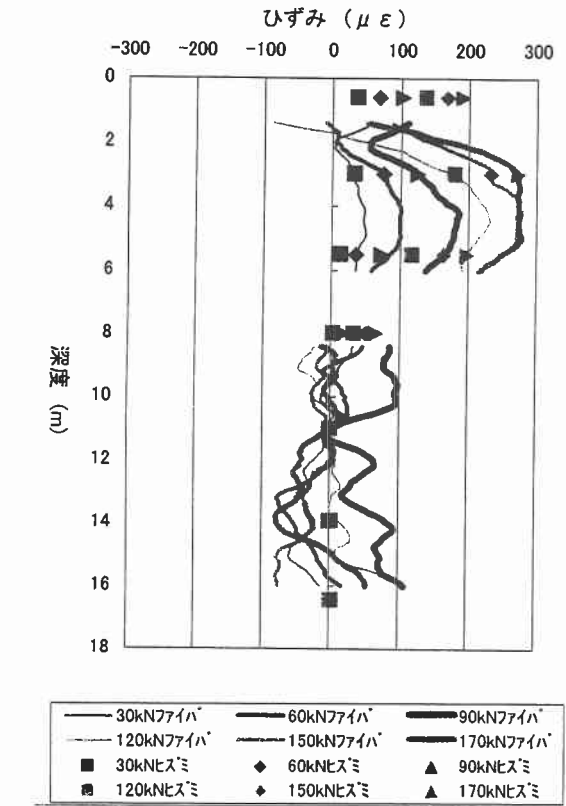


図-6 中杭別途補正後の光ファイバひずみ

4. まとめと今後の課題

以上をまとめると、次のとおりである。

- 1) 鋼管杭に光ファイバを貼付する簡易な方法として、直接貼付する方法を検討したが、ひずみ測定が不可能であった。この原因は、溶接火花が光ファイバに引火して焼失したためであり、今後防護方法等を開発する必要がある。
- 2) 長尺な鋼管杭打設時に必要になる、杭継ぎ足し部の処理方法として今回考案した方法は、継ぎ足し直下の杭のひずみ測定を可能にすることができた。しかし、測定値にはかなりのばらつきが認められた。

今後、前回の貼付方法と異なった作業内容等を細部から抽出検討して、再度試験調査する必要がある。

5. あとがき

光ファイバを用いて打ち込み鋼管杭のひずみを測定する試験は、今回が2回目である。試験では、光ファイバの簡易な貼付方法や杭継ぎ足し部の処理方法等を考案検討した。その結果、それぞれについての問題点が明らかになった。今後、測定精度の向上を目指して、さらに試験研究する所存である。

なお、この技術は鋼管杭のひずみ測定に利用するだけでなく、橋梁などの鋼構造物を対象とした各種試験のひずみ測定や一般供用構造物の維持管理・安全監視⁷⁾などにも利用可能であることが予想される。したがって、今後の展開が大いに期待されるものと考ええる。本報告が、これらに関連した技術開発の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 倉嶋利雄, 佐藤昌志: 光ファイバを用いた構造物のひずみ分布計測, 土木学会誌, pp18 ~ 20, 1997.5
- 2) 日下部祐基, 佐藤昌志, 倉嶋利雄, 野引敦, 高見和弘: 光ファイバによる杭の軸力測定に関する研究, 第33回地盤工学研究発表会講演集, pp.2477 ~ 2478, 1998.7.
- 3) 日下部祐基, 佐藤昌志, 倉嶋利雄, 野引敦, 高見和弘: 光ファイバセンサによる杭の軸力測定, 地盤工学会北海道支部技術報告集第38号, pp.271 ~ 274, 1998.2.
- 4) 日下部祐基, 池田憲二, 中井健司, 富澤幸一: 光ファイバセンサによる鋼管杭のひずみ測定, 土木学会北海道支部論文報告集第57号, 2001.2
- 5) 地盤工学会: 杭の鉛直載荷試験方法・同解説, pp.76 ~ 111, 1993.6.
- 6) 地盤工学会: 杭の水平載荷試験・同解説, pp.21 ~ 34, 1993.10
- 7) 日下部祐基, 池田憲二, 中井健司, 川瀬良司: 光ファイバセンサによる現地岩盤斜面計測結果とその考察, 土木学会北海道支部論文報告集第56号, 2000.2