

カイザー効果を用いた深礎杭の応力推定の試み

AN ATTEMPT TO ESTIMATE THE STRESS OF A CAISSON PILE BY AE KAISER EFFECT

川瀬貴行*・藤原鉄朗*・竹原哲郎**・原 龍一***・吉松弘行***・佐藤和則****

Takayuki KAWASE, Tetsuro FUJIWARA, Tetsuro TAKEHARA, Ryuichi HARA, Hiroyuki YOSHIMATSU and Kazunori SATO

This paper deals with the evaluation of the present condition of caisson piles based on cumulative moment from observation of steel rod distortion. To check the reliability of the steel rod distortion measurement system presently installed, we decided to determine stress from the concrete in a caisson pile. The AE method (Kaiser effect) was used to estimate the pre-existing compression stress of the concrete core. Bending moment and steel rod stress were deduced from concrete stress, enabling us to evaluate the present condition of the caisson pile.

Key Words : Kaiser effect, acoustic emission, caisson pile, landslide

1. はじめに

鷲尾岳地すべりにおいては、対策工として排水トンネル、集水井工などの抑制工のほかに、抑止工として深礎杭が施工されている。深礎杭は平成2年度に直径5.5m、長さ28.5～47.0mの鉄筋コンクリート製で、全36本が施工されている。このうち4本の深礎杭については施工以降自動観測システムによって、鉄筋歪計、土圧計、盤圧計などの計器観測が実施されてきており、観測結果によってこれらの計器のうち、地すべり面付近での鉄筋歪計の値が増大傾向にあることが確認されている。しかしながら、自動観測計器設置後約15年が経過して、近年自動観測システムの老朽化が確認されており、データ欠落や異常値の計測など、鉄筋歪計のデータの信頼性に問題が生じた。

本報告は、この鉄筋歪計のデータの信頼性を確認することを目的として、深礎杭から採取したコンクリートコアについてAE法（カイザー効果）による深礎杭の応力推定を行い、鉄筋歪計データの信頼性について検証を行ったものである。

2. 地すべり概要

鷲尾岳地すべり防止区域は、長崎県佐世保市の北北西約12kmの北松浦郡江迎町志戸氏免に位置し、その地すべりは幅200～500m、長さ約1km、最大層厚約100mの規模を有する。当地区の基盤は新第三系下部中新統に属する佐世保層群柚木層から構成され、柚木層を上部中新統の玄武岩類が

不整合に覆い、キャップロック構造となっている。佐世保層群は砂岩・頁岩などからなり、この内の挟炭層がすべり面となっている。

3. 深礎杭調査・観測結果

深礎杭の鉄筋歪計観測は、深礎杭全36本中の4本で行われており、このうち深礎杭No.29の山側深度35.25mに設置された歪計の値が増大傾向を示している。図-1に鉄筋歪から算出した曲げモーメントの経年変化を示す。

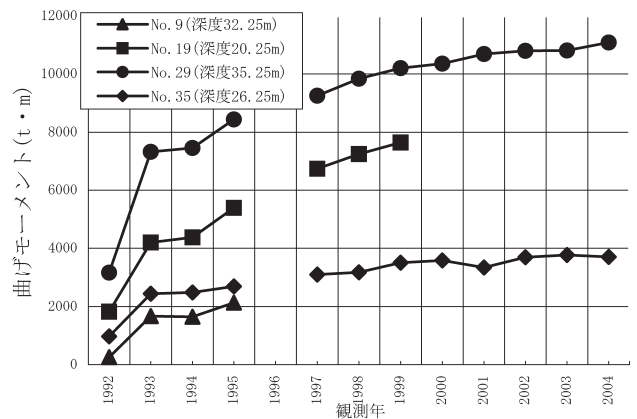


図-1 曲げモーメント経年変化

このNo.29深礎杭で、山側、谷側の計2本のボーリングを行ってコアを採取し、ボアホールカメラによって孔内の亀裂の確認を行った。深礎の全長45mのうち、すべり面深度30.0mを挟む深度26～32m間にせん断補強筋が設置されており、亀裂はこのせん断補強筋設置区間の上下に集中して観察された。

* 首都圏事業部 インフラマネジメント部
 ** 福岡支店 技術部
 *** 財団法人 砂防地すべり技術センター 斜面保全部
 **** 長崎県北振興局 建設部

4. 応力計測方法

岩盤の初期地圧を評価する代表的な方法としては、応力解放法、水圧破碎法、AE法²⁾が挙げられる。この内、応力解放法ならびにAE法はコンクリートの応力推定方法としても利用されている。

上記の計測方法の内、応力解放法ならびに水圧破碎法は原位置試験であり、AE法はサンプルを採取して室内試験で実施する。ここで、本深礎杭は地すべり面付近まで深度30m程度を有しており、作業性や経済性の観点から原位置試験よりサンプル採取による試験が望ましい。したがって、AE法を利用してコンクリートの先行圧縮応力を推定することとした。

なお、AE法はカイザー効果を利用した計測方法であり、カイザー効果とは材料が過去に受けた応力以下の状況下ではAEの発生数が少なく、その応力以上に载荷されると、AE発生数が急増する現象である(図-2)。この現象を利用し、先行圧縮応力を推定する。

本検討では、同じ深度で山側・谷側において深礎杭軸方向にコンクリートコアを採取し、先行圧縮応力のバランスから曲げ圧縮側・曲げ引張側を判別し、曲げモーメントならびに応力を推定することとした(図-3)。

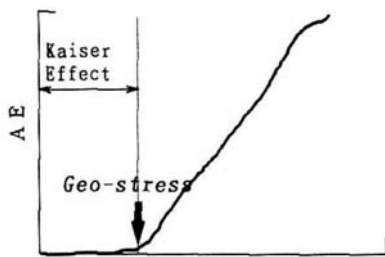


図-2 カイザー効果概念図

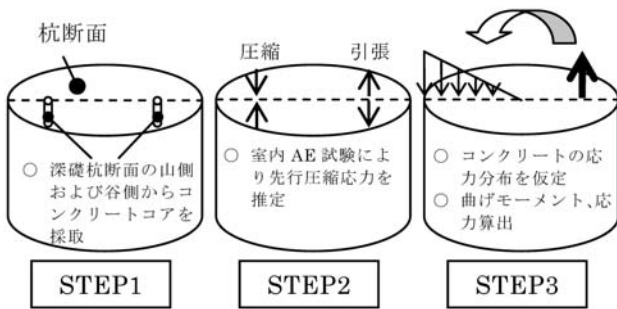


図-3 曲げモーメント推定までの手順

5. 試験方法

(1) コア採取位置

鉄筋歪計測結果では地すべり面の上下方でモーメントが増大する傾向がある。そこでコア採取位置は、深度はすべり面深度を含めた4段階とし、平面位置は山側縁・谷側縁から1.4m程度とした(図-4)。

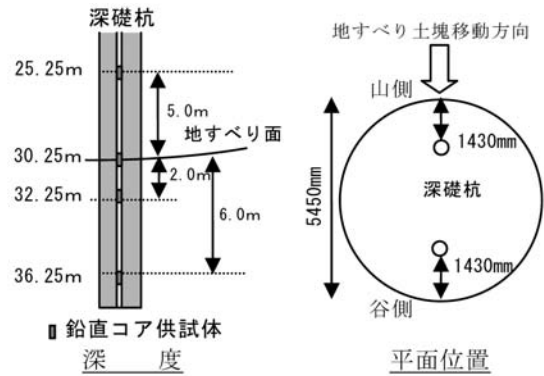


図-4 コア採取位置

(2) AE計測

コア採取からの時間経過は応力履歴の消失につながるため、コア採取から5日以内にAE試験を実施した。また、念のため時間経過の影響を打ち消す目的で繰返し载荷試験により载荷を行った。

繰返し回数は3回とし、4回目で最大荷重まで载荷した。AE計測は、6センサで実施し、共振周波数150kHz以上の高感度センサを用いた。

本検討では図-5のようにAEを計測した回数(ヒット数)と応力との関係から、ヒット数が急増する時点での応力を先行圧縮応力として推定した。AE計測結果例を図-6に示す。初回载荷時において明確なカイザー効果が確認されていることから、初回载荷時のAE計測結果から先行圧縮応力を推定した。

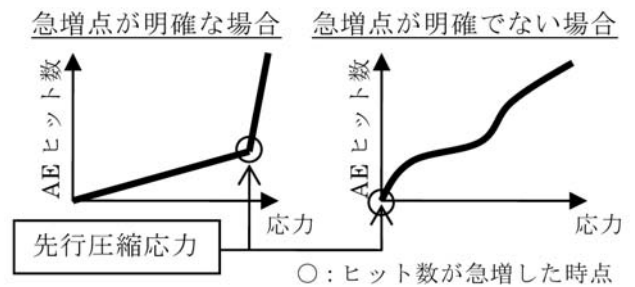


図-5 先行応力の推定方法

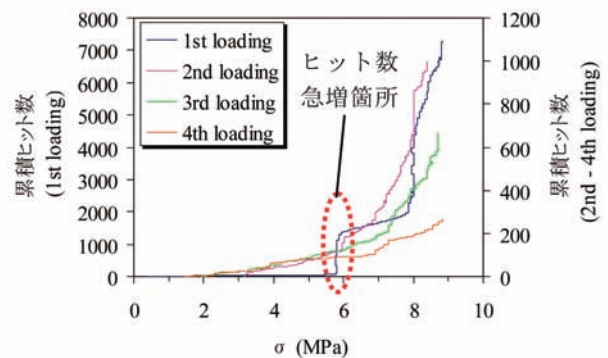


図-6 AE計測結果例

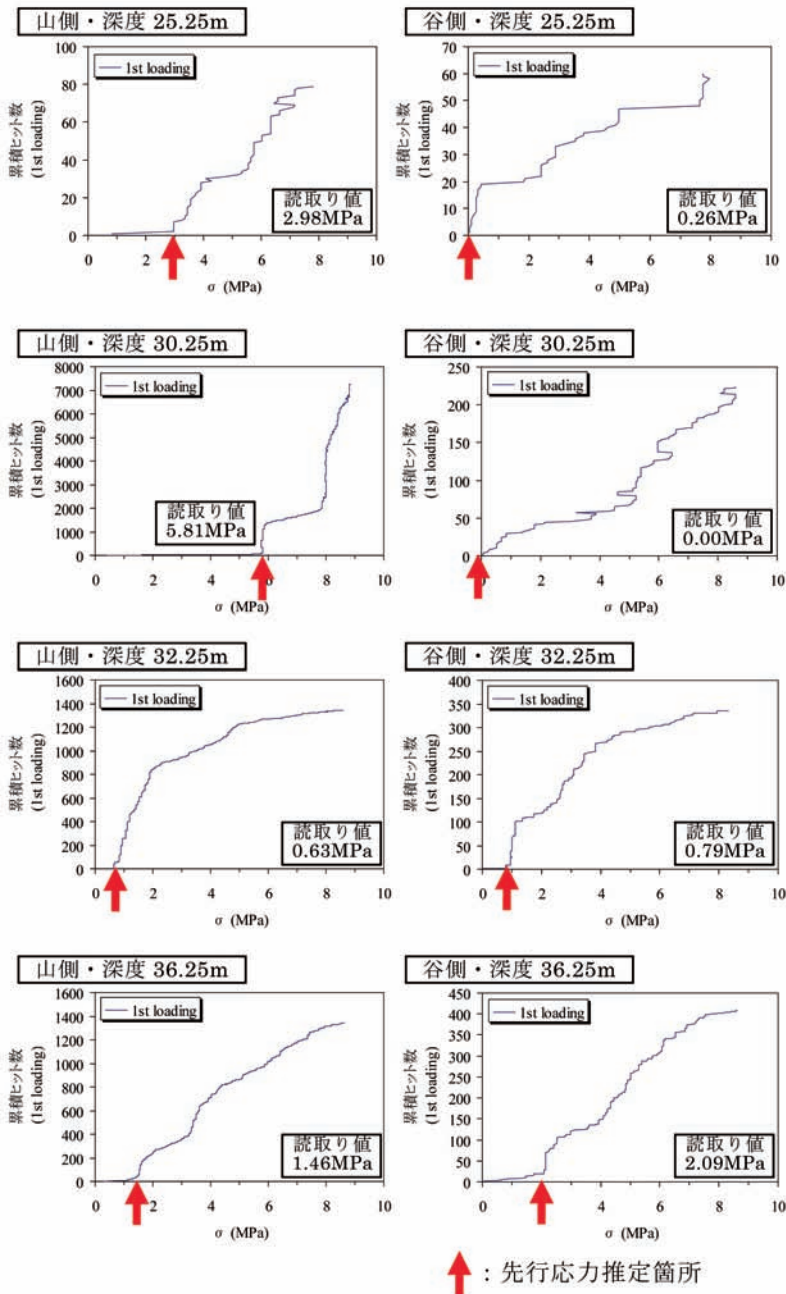


図-7 AE計測結果一覧

表-1 先行圧縮応力の推定結果

深度	山側コア	谷側コア
25.25m	2.98MPa	0.26MPa
30.25m	5.81MPa	0.00MPa
32.25m	0.63MPa	0.79MPa
36.25m	1.46MPa	2.09MPa

表-2 曲げ圧縮応力の推定結果

深度	山側コアの 曲げ圧縮応力 (MPa)	谷側コアの 曲げ圧縮応力 (MPa)
25.25m	2.35 (2.98-0.63)	0.00 (0.26-0.63)
30.25m	5.05 (5.81-0.76)	0.00 (0.00-0.76)
32.25m	0.00 (0.63-0.81)	0.00 (0.79-0.81)
36.25m	0.00 (1.46-0.91)	1.18 (2.09-0.91)

※ 深度 36.25m の山側コアより谷側コアのほうが曲げ圧縮応力が大きいと推定された。安全側の曲げモーメントを推定するために谷側コアのみ曲げ圧縮応力が作用しているものとみなした。
 ※ 杭自重分を差し引いて負になった場合は、「0.00」と表記し、曲げ圧縮応力が作用していないものとみなした。

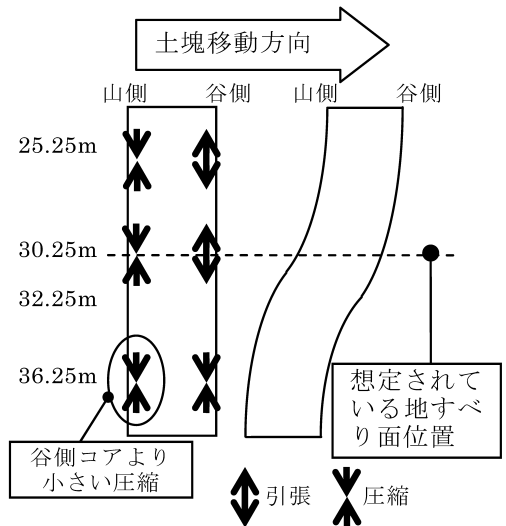


図-8 曲げ圧縮応力から予想される深礎杭の変形状態

6. 試験結果

(1) 先行圧縮応力推定結果

図-7にAE計測結果の一覧、表-1に推定した先行圧縮応力の一覧を示す。

表-1の先行圧縮応力には、深礎杭自重分の圧縮応力が加算されているものと考えられる。単位体積重量を25kN/m³と仮定し、先行圧縮応力から自重による圧縮応力を減算して曲げ圧縮応力として補正した(表-2)。なお、ゼロに近い数値はほとんど曲げ圧縮応力を受けていないものとみなした。

深度32.25mより上側では山側のコンクリートコアが曲げ

圧縮状態となっているのに対して、深度32.25mより下側では谷側が曲げ圧縮状態となっていることが確認できる。深度32.25mでは山側・谷側の両方で曲げ圧縮応力はほとんどなく、曲げモーメントは作用していないものと推測できる。

深礎杭の曲げ挙動から予想される変形状態を表すと図-8のようになり、地すべりによって引き起こされる深礎杭の変形挙動と合致した。

(2) 各深度での曲げモーメント推定

各断面での曲げ圧縮応力分布を直線であるものと仮定し、コア採取位置と曲げ圧縮応力値から圧縮縁応力を算出した。円形断面の計算式³⁾から表-3に示す曲げモーメントを算出した。この計算式は複雑であるので説明の詳細は省く。

前述において、深度32.25mでは曲げ圧縮応力が発生しておらず、曲げモーメントはほとんどないものと推定したため、表-3には深度32.25m以外の深度における曲げモーメント算出結果を示している。

表-3 モーメント算出結果一覧

深 度	25.25m	30.25m	36.25m
AE計測結果から推定した先行曲げ圧縮応力 (MPa)	2.35 (山側)	5.05 (山側)	1.18 (谷側)
応力分布が線形分布と仮定して推定した圧縮縁応力 (MPa)	4.95 (山側)	10.63 (山側)	2.48 (谷側)
圧縮縁応力から推定される曲げモーメント (KN・m)	-3.92 × 10 ⁴	-8.42 × 10 ⁴	1.97 × 10 ⁴
算出した曲げモーメントから推定される鉄筋の引張応力 (MPa)	80.96 (谷側)	173.97 (谷側)	40.65 (山側)

(3) 鉄筋歪計測結果との比較

深度方向の曲げモーメント分布は図-9のようになる。鉄筋歪計測結果と比較すると、地すべり面付近(深度30.25m)を境に曲げモーメントが正負逆転している傾向が一致していることがわかる。また、最大曲げモーメントについても、両者はほぼ同程度となった。

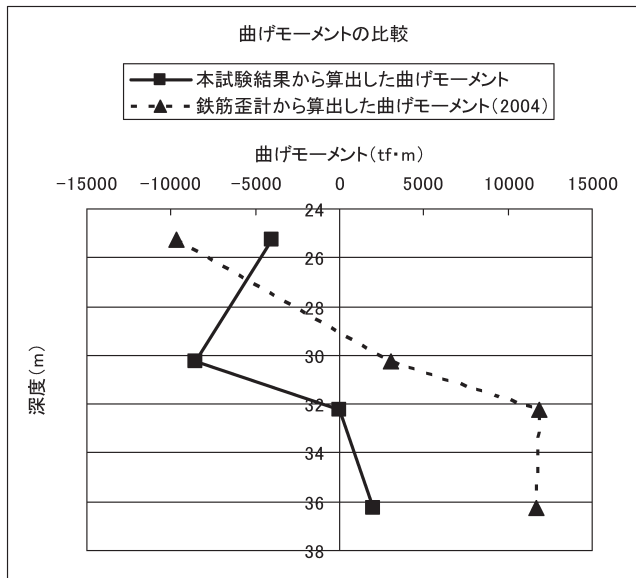


図-9 曲げモーメント比較

(4) 設計値との比較

コンクリートの圧縮・せん断応力、および鉄筋の引張応力を整理すると表-4のようになる。ここでせん断力は、表-3中の圧縮縁応力を基に算出したものである。設計応力値¹⁾と比べると、本検討で推定した応力値が許容値範囲内であることがわかった。

表-4 各材料の応力値一覧

深 度 (m)	コンクリート		鉄 筋 引張応力 (MPa)
	圧縮縁応力 (MPa)	せん断応力 (MPa)	
25.25	4.95		80.96
25.25~30.25		0.50	
30.25	10.63		173.97
30.25~32.25		2.35	
32.25	4		0.00
32.25~36.25		0.27	
36.25	2.48		40.65

設計応力値：コンクリート圧縮応力=13.23 Mpa (135 kgf/cm²)
 コンクリートせん断応力=2.94 MPa (30 kgf/cm²)
 鉄筋応力=264.6 MPa (2,700 kgf/cm²)

7. おわりに

鉄筋歪計測結果の信頼性が十分に確保できていない深礎杭からコンクリートコアを採取し、AE法(カイザー効果)により軸方向の先行圧縮応力を推定した。その結果から深礎杭が受けた曲げモーメントを推定し、発生応力と設計応力値との比較を行った。

AE法により推定した曲げモーメントの深度分布は、鉄筋歪計測結果の傾向と同様の傾向を示している。このことから、現行設置されている鉄筋歪計は、稀に電氣的ノイズに起因する異常値が生じるものの、おおむね正しい値を表示しているものと判断された。また、現在のところ、深礎杭No.29の応力状態は、設計応力範囲内にあることを確認できた。

コンクリートコアを用いたカイザー効果による応力推定は実施例が少なく、十分に確立された手法とは言い難い。しかし、今回の検討した深礎杭のように比較的応力状態の想定が容易で、かつ発生している応力が極大な現象については有効な手法と考えられ、今後の利用が期待できる。

補足

本内容は、第44回(社)地すべり学会研究発表会にて発表したものである。

参考文献

- 1) 鷲尾岳地すべり工事誌
- 2) 勝山邦久：現場技術者のためのAE技術の応用,1994.6
- 3) 土木学会：初期地圧測定法の現状と課題,1992.6
- 4) 上前行孝ほか：鉄筋コンクリートの新しい計算図表,近代図書,2000.4